



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS RESÍDUOS FINOS RECÉM-GERADOS E OS
DEPOSITADOS EM ATERROS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

TATIANE BRITO PERIM DA SILVA

ALEGRE, ES

2019

Tatiane Brito Perim da Silva

**COMPARAÇÃO ENTRE OS RESÍDUOS FINOS RECÉM-GERADOS E OS
DEPOSITADOS EM ATERROS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Engenharia Química

Linha de Pesquisa: Materiais, Bioprocessos e Meio Ambiente

Orientador: Prof.^a. Dr.^a Mirna Aparecida Neves

ALEGRE, ES

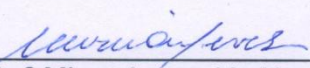
Fevereiro 2019

**COMPARAÇÃO ENTRE OS RESÍDUOS FINOS RECÉM-GERADOS E OS
DEPOSITADOS EM ATERROS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

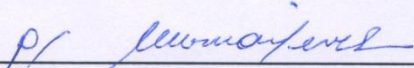
Tatiane Brito Perim da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

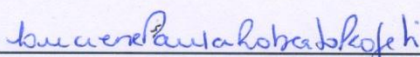
Examinada em 25 de Fevereiro de 2019.



Prof.^a Dr.^a Mirna Aparecida Neves
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr.^a Simone Pereira Taguchi Borges
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Prof.^a Dr.^a Luciene Paula Roberto Profeti
Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B862c Brito Perim da Silva, Tatiane, 1991-
Comparação entre os resíduos finos recém-gerados e os
depositados em aterros da indústria de rochas ornamentais /
Tatiane Brito Perim da Silva. - 2019.
77 f. : il.

Orientadora: Mirna Aparecida Neves.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Meio Ambiente. 2. Resíduos sólidos. 3. Resíduo de rocha
ornamental. 4. Classificação. 5. Caracterização. I. Aparecida Neves,
Mirna. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 66.0

É muito melhor conquistar a sabedoria do que o ouro puro. É mais proveitoso obter o entendimento do que a prata mais valiosa (Provérbios 16:16).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Senhor por me permitir chegar até aqui. A Ele toda honra e toda glória. Gratidão por não me deixar desistir, e por me guiar ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, José Lucimar e Cirlene, que mesmo não tendo as mesmas oportunidades que tive sempre me mostraram que o melhor caminho para vencer é através dos estudos.

As minhas irmãs, Polly e Iza, pela amizade e carinho e minhas sobrinhas Geovanna e Natany pelos momentos alegres que me proporcionaram, muito obrigada.

Ao meu esposo Willian, meu maior incentivador, que esteve presente em todo tempo, me encorajando e me dando todo suporte necessário. Obrigada por ser uma benção na minha vida.

À minha orientadora Dra. Mirna Aparecida Neves, pelas inúmeras dicas, pela compreensão e disponibilidade ao longo deste estudo.

À banca examinadora, pela disponibilidade em contribuir para a construção e as melhorias deste trabalho.

Às amigas que fiz ao longo desses dois anos da pós, em especial a Polyana, Andréia e Cynthia, por me ouvirem e dividir os momentos bons e ruins.

À Universidade Federal do Espírito Santo.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro (processo nº 571780/2008-3).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

SILVA, Tatiane Brito Perim da. **Comparação entre os resíduos finos recém-gerados e os depositados em aterros da indústria de rochas ornamentais.** 2019. (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Mirna Aparecida Neves.

O setor de rochas ornamentais produz uma quantidade significativa de resíduos finos. Os estudos existentes quanto à classificação desses resíduos ainda são inconclusivos. Enquanto alguns trabalhos consideram-nos como Não-Inertes, outros os classificam como Inertes e até Perigosos. Outro ponto que deve ser destacado são os resíduos que estão depositados há vários anos e que também precisam ser estudados a fim de identificar possíveis alterações no seu comportamento com o meio ambiente. Esse estudo teve como objetivo conhecer o efeito do envelhecimento dos resíduos finos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais. Foram estudados os resíduos recém-gerados, denominados de novos (RNs) e os resíduos antigos (RAs). As amostras foram caracterizadas de acordo com a distribuição de tamanho, mineralogia, composição química e morfologia. A classificação dos resíduos seguiu as normas 10004, 10005 e 10006 da ABNT (2004). Quanto à caracterização não foram observadas diferenças significativas entre os casos estudados, exceto em termos de tamanho de grão, na qual o RA foi considerado ligeiramente mais grosso que o RN. Quanto à classificação, percebeu-se que o comportamento dos constituintes dos resíduos muda ao longo do tempo, as concentrações das espécies analisadas são mais elevadas nos RNs e tendem a diminuir nos RAs, alterando a classificação de Não-Inertes (Classe IIA) para Inertes (Classe IIB).

Palavras-chave: **resíduo, rochas ornamentais, classificação.**

ABSTRACT

SILVA, Tatiane Brito Perim da. **Comparison fines residues new with those deposited in landfills of the ornamental stone industry.** 2019. (Master's Degree in Chemical Engineering) - Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES. Adviser: Prof.^a Dr^a Mirna Aparecida Neves.

The ornamental rock sector produces a significant amount of fine residues. Existing studies on the classification of these residues are still inconclusive. While some works consider them as Non-Inertes, others classify them as Inertes and even Dangerous. Another point that must be highlighted is the waste that has been deposited for several years and that also need to be studied in order to identify possible changes in its behavior with the environment. This study aimed to know the effect of aging of the fine residues generated by ornamental stone processing. Two moments were studied: the new residues (NRs) and the old residues (ORs). The samples were characterized according to size distribution, mineralogy, chemical composition and scanning electron microscopy (SEM). The classification of the residues followed the standards 10004, 10005 and 10006 of ABNT (2004). Regarding the characterization, no significant differences were observed between the studied cases; however, regarding the classification, it was observed that the behavior of the constituents of the residues changes over time, the concentrations of the analyzed parameters are higher in the NBs and tend to decrease in the RAs, from Non-Inertes (Class IIA) to Inertes (Class IIB).

Keywords: **waste, dimension stone, classification.**

LISTA DE SIGLAS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de raios X
DW	Dalia White – granito
FRX	Fluorescência de raios X
ICP	Plasma por acoplamento indutivo
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IN	Instrução Normativa
IPCS	<i>International programme on chemical safety</i>
JCPDS	<i>Joint committe on powder diffraction standards</i>
LIX	Lixiviação
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma Brasileira
Ph	Potencial hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Resíduo Antigo
RN	Resíduo Novo
SOL	Solubilização
VB	Verde Bahia – granito
VMP	Valor máximo permitido
WHO	<i>World Health Organization</i>
<i>M_f</i>	Massa após a queima
<i>M_i</i>	Massa antes da queima
<i>PF</i>	Perda ao fogo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. Processamento de Rochas Ornamentais	12
3.2. Resíduos Finos Gerados pelo Processamento de Rochas Ornamentais	13
3.2.1. <i>Composição e Classificação dos Resíduos Finos do Processamento de Rochas Ornamentais</i>	16
3.2.2. <i>Comportamento dos principais constituintes do resíduo no ambiente</i>	18
3.3. Gestão de resíduos sólidos	27
3.3.1. <i>Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)</i>	29
3.3.2. <i>Instrução Normativa Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA 011/2016</i>	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1. Materiais estudados.....	33
4.2. Amostragem dos resíduos antigos (RAs) e compilação de dados de resíduos novos (RNs).....	33
4.3. Caracterização dos resíduos	36
4.3.1. <i>Análise granulométrica</i>	36
4.3.2. <i>Composição Mineralógica</i>	37
4.3.3. <i>Composição Química</i>	37
4.3.4. <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	38
4.4. Classificação dos resíduos	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1. Análise granulométrica dos resíduos	41
5.2. Composição química dos resíduos	42
5.3. Composição mineralógica dos resíduos	43
5.4. Imageamento por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos resíduos ...	45
5.5. Classificação dos resíduos conforme NBR 10.004 (ABNT, 2004a)	52
5.5.1. <i>Análise do extrato lixiviado dos resíduos novos-RNs</i>	52
5.5.2. <i>Análise do extrato solubilizado dos resíduos novos- RNs.</i>	53
5.5.3. <i>Análise do extrato lixiviado dos resíduos antigos - RAs</i>	55
5.5.4. <i>Análise do extrato solubilizado resíduos antigos- RAs.</i>	56
5.5.5. <i>Comparação das concentrações médias obtidas e o VMP dos resíduos</i>	57

6 CONCLUSÕES.....	61
7 REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE.....	70
ANEXO	77

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grandes reservas de rochas ornamentais de revestimento, principalmente de mármore e granitos, com um diversificado aspecto estético. O Estado do Espírito Santo representa cerca de 80% da produção do país, sendo que o município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado no Sul do Estado, é responsável por aproximadamente 90% desta produção. Além de suprir o mercado nacional, as rochas processadas em Cachoeiro de Itapemirim também são exportadas para os Estados Unidos e países europeus (MOREIRA; FREIRA; HOLANDA, 2003).

No primeiro semestre de 2018, as exportações brasileiras somaram US\$ 488, 2 milhões. Os países de destino foram: EUA, China e Itália. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Ceará lideraram as exportações brasileiras tanto em volume físico como em faturamento (ABIROCHAS, 2018).

Essa movimentação contribui de forma direta para a economia do estado do Espírito Santo, gerando empregos e renda. Por outro lado, o setor de rochas ornamentais produz uma quantidade significativa de resíduos que causam impactos ambientais negativos. Esses resíduos são gerados nas diversas fases do processo, como as lamas abrasivas que são oriundas da etapa do desdobramento de blocos e polimento de chapas, além dos sacos de cimento e cal que são obtidos a partir dos insumos utilizados, as pastilhas abrasivas, entre outros (BRAGA *et al.*, 2010; MOREIRA; FREIRA; HOLANDA, 2003).

De acordo com o tipo de tear utilizado, a lama abrasiva tem composição diferenciada. No tear convencional ou multilâminas, a lama é formada por água, cal, gralha de aço, e pó de rocha moída. No tear diamantado, considerado uma tecnologia mais limpa por não utilizar a gralha de aço, a composição da lama se resume em água e pó de rocha moída (MOREIRA; FREIRA; HOLANDA, 2003).

Após perder seu poder abrasivo, esta lama passa a compor um resíduo que, muitas vezes, é depositado de forma inadequada na natureza sem nenhum tratamento prévio. A maioria das empresas apenas retira o excesso de água contido nessa lama, e depois a armazena em bacias escavadas no solo, sem impermeabilização e/ou cobertura. Outras enviam para aterros, porém, como é a empresa que arca com custos de transporte e acondicionamento desses resíduos, essa prática ainda não é muito comum (OLIVEIRA; RIBEIRO; MOREIRAS, 2016).

Um destino que pode ser considerado viável ambientalmente para este resíduo é a reutilização do mesmo. Diversos estudos indicam a possibilidade de uso do resíduo na fabricação de cerâmica vermelha, azulejos, na construção civil, agricultura, etc. (TAGUCHI *et al.*, 2014; SOUZA; PINHEIRO; HOLANDA, 2010; MOURA; LEITE, 2011; RAYMUNDO *et al.*, 2013).

Tanto para uma correta gestão dos resíduos como para a reutilização do mesmo é importante entender o seu comportamento no ambiente e também suas principais características. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio da NBR 10004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos em Perigosos e Não Perigosos, sendo este último grupo subdividido em Não Inertes e Inertes. Estudos realizados por Braga *et al.* (2010); Gonçalves, Moura e Dal Molin (2002); Manhães e Holanda (2008), classificam o resíduo como Não Perigoso e Não inerte (Classe II A). Esses trabalhos classificam a lama recém-gerada, antes de sua deposição em aterros. Porém, é muito comum a ocorrência de depósitos de resíduos antigos nas áreas produtoras de rochas ornamentais, os quais passaram a compor passivos ambientais que precisam ser conhecidos para uma adequada gestão ambiental.

Considera-se, portanto, importante a comparação entre os resíduos recém-gerados e aqueles depositados há vários anos, a fim de determinar se essa classificação se altera com o passar do tempo, e assim fornecer subsídios para iniciativas de reaproveitamento do mesmo.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é conhecer o comportamento dos resíduos finos de rochas ornamentais recém-gerados e os resíduos armazenados em depósitos antigos, frente ao envelhecimento do material. Para que este objetivo fosse alcançado, foi necessário delinear os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a caracterização física, química, mineralógica e morfológica dos resíduos.
- Realizar a classificação de resíduos armazenados em depósitos antigos, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).
- Comparar a classificação obtida para os resíduos depositados com a classificação dos resíduos recém-gerados, descritos na literatura.

3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

3.1. Processamento de Rochas Ornamentais

Pela definição geológica, rochas são produtos consolidados, resultantes da união natural de minerais. No setor de rochas ornamentais do Espírito Santo são comercializadas, principalmente, as rochas silicáticas, referidas indiscriminadamente como granitos, e os mármore. O granito é constituído essencialmente por quartzo, feldspatos e micas. O mármore é uma rocha carbonática e possui como minerais principais a calcita e a dolomita (TEIXEIRA, *et al.*, 2000; VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

Segundo a NBR 15012 (ABNT, 2013), rocha ornamental é um material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária. Quando essas rochas são submetidas a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, são denominadas rochas de revestimentos, e podem ser utilizadas especialmente para revestimento de pisos, paredes e fachadas (ABNT, 2013).

De modo geral, o processamento de rochas ornamentais pode ser dividido em duas fases: a extração e o beneficiamento.

A extração é a fase em que o material rochoso é retirado da natureza por meio de técnicas específicas que dependem da localidade da jazida e do tipo de rocha a ser lavrada. O produto dessa etapa são os blocos prismáticos com dimensões entre 8 e 12 m³. Depois de extraídos, os blocos são transportados até as serrarias para a continuidade do processo (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

A etapa seguinte é o beneficiamento, que tem como objetivo a transformação dos blocos extraídos na fase de lavra em produtos finais ou semiacabados, e se divide em duas fases: beneficiamento primário e beneficiamento secundário. O beneficiamento primário consiste na serragem dos blocos utilizando-se teares multilâminas (também denominados de convencionais) e teares diamantados (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

O corte dos blocos em teares convencionais ocorre com a adição de uma polpa composta por água, cal e granalha de aço, que é continuamente espalhada sobre o

bloco para otimizar o corte e resfriar as lâminas (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

O tear de fio diamantado possui anéis ou pérolas com grãos de diamante dispostos ao longo de um fio, que confere maior eficiência no corte, e gera um resíduo livre de vestígios metálicos, sendo, portanto, uma tecnologia mais limpa. É utilizado principalmente em rochas de menor dureza, como as carbonáticas e rochas que apresentam pontos de fraquezas, como as exóticas (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

Após a serragem, as chapas são conduzidas para o beneficiamento secundário ou acabamento final. Esse acabamento é feito através do levigamento, polimento e lustro. O levigamento é responsável pelo desengrossamento das chapas, criação de superfícies planas e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e a correção de irregularidades, obtendo-se uma superfície lisa, opaca e impermeável. Esses processos são efetuados por rebolos abrasivos à base de carbetto de silício e diamante, com diferentes granulometrias, sendo as mais grossas para o levigamento e as mais finais para o polimento. A última etapa do beneficiamento é o lustro, que tem a função de conferir brilho à peça através do espelhamento das faces dos cristais constituintes. O brilho pode ser aferido por aparelhos como o *glossmeter* ou por acuidade visual (SANTOS; DESTEFANI; HOLANDA, 2013; SARDOU FILHO *et al.*, 2013).

3.2. Resíduos Finos Gerados pelo Processamento de Rochas Ornamentais

Durante o processamento de rochas ornamentais são gerados os resíduos denominados finos, que são oriundos do processo de beneficiamento primário e secundário.

Antes da serragem, os blocos são submetidos a um processo de envelopamento, que é feito através de resinas com o objetivo de proteger o bloco dos possíveis impactos decorrentes da etapa de corte. Após o envelopamento, os blocos seguem então para os teares. A lama abrasiva é formada durante esta etapa, que inicialmente consiste em uma mistura de água, cal e granalha de aço que são adicionados no caso do tear convencional. Contudo, com o passar do tempo, essa

mistura fica muito viscosa, e precisa ser descartada, constituindo assim o primeiro resíduo fino gerado no beneficiamento (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

No beneficiamento final (secundário) é gerado o segundo resíduo fino da indústria de rocha ornamental, esse resíduo é obtido durante as etapas de levigamento, polimento e lustro que utilizam abrasivos e resinas que conferem o acabamento da chapa. Geralmente, o resíduo fino da indústria de rochas ornamentais encaminhado aos depósitos ou aterros é a união desses dois resíduos (Figura 1).

Segundo dados da literatura, cerca de 20-25% do bloco beneficiado é convertido em resíduo (SABOYA; XAVIER; ALEXANDRE, 2007; VIJAYALAKSHMI; SEKAR; PRABHU, 2013).

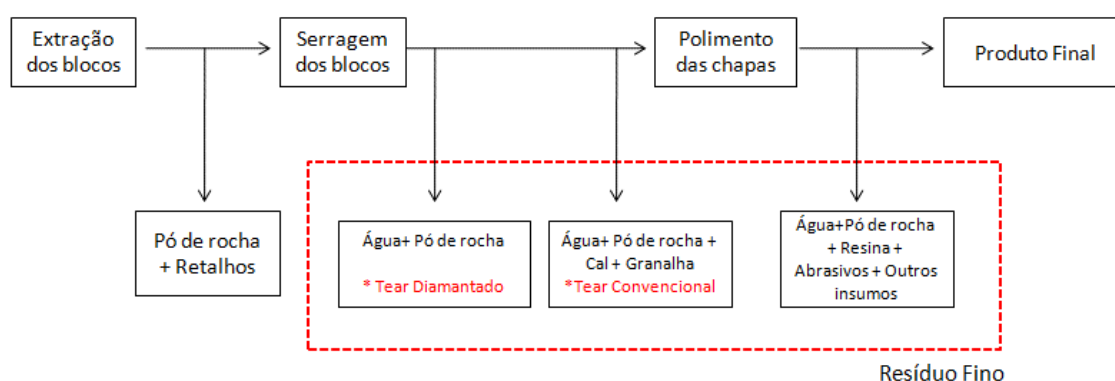


Figura 1- Fluxograma ilustrando os momentos de geração de resíduos finos no processo de beneficiamento de rochas ornamentais.

O tratamento da lama abrasiva, atualmente, consiste na deposição da mesma em lagoas de sedimentação ou tanques situados próximo às empresas, para que a água evapore naturalmente, e depois serem transportadas para aterros licenciados, que é o recomendado pela legislação (Figura 2).



Figura 2- (a) Lagoa de secagem da lama abrasiva (b) tanque de sedimentação e (c) deposição de resíduos após desidratação. Fonte: Reis (2008, p.34-35) e Careddu e Dino (2016, p. 1075).

As empresas mais modernas realizam um tratamento prévio desse resíduo antes de encaminhá-lo para os aterros. Toda lama obtida durante o processo, é transportada através de uma tubulação ou por canaletas para um equipamento conhecido como silos, que é um decantador vertical. A lama é inserida na parte superior deste equipamento, e como a mesma é mais densa que a água, ela tende a decantar. A água que fica na parte superior dos silos, é tratada, e retorna ao processo, enquanto que a lama decantada segue para outro equipamento, o filtro prensa que tem o objetivo de diminuir o teor de umidade, para que a mesma possa ser transportada com segurança e, então, ser enviada para os aterros licenciados (Figura 3).



Figura 3 - (a) Silo e filtro-prensa para resíduo silicático (b) filtro-prensa para resíduo carbonático. Fonte: Careddu e Dino (2016, p.1075).

Os impactos ambientais decorrentes do setor de rochas ornamentais são significativos, desde a extração, até o corte dos blocos e o polimento das chapas.

Um estudo realizado por Aguiar *et al.* (2016) avaliaram o potencial mutagênico dos resíduos finos da indústria de rochas ornamentais obtidos no processo de polimento, por meio do estudo de células de raízes de cebola e de peixes. Os resultados indicaram que, para as condições testadas, os resíduos possuem potencial mutagênico, pois se observou alterações nos cromossomos. Tal ocorrência pode estar relacionada com a quantidade de fenol identificado nas amostras, oriundo da etapa de polimento das rochas.

Segundo Prezotti (2003) no caso da lama abrasiva, são utilizados cerca de 500 kg de granalha de aço por bloco serrado, e estima-se que juntamente com os efluentes são descartados aproximadamente 186 mil kg/dia de resíduos ferrosos. O autor constatou que muitas empresas ainda lançam as águas residuárias de seus teares em tanques de acúmulo diretamente no solo sem a devida impermeabilização, e

sem nenhum tipo de recirculação do líquido; uma parte evapora ou se infiltra no solo, enquanto a outra permanece como umidade nos resíduos acumulados. Outro ponto alarmante é que a deposição desses resíduos em cursos de água, ocasiona o assoreamento dos rios e lagos, a alteração da cor da água e a modificação do pH da mesma.

3.2.1. Composição e Classificação dos Resíduos Finos do Processamento de Rochas Ornamentais

A característica da lama abrasiva depende da rocha a partir da qual ela se originou e também dos processos de beneficiamento. Em termos de granulometria, a literatura relata que o resíduo possui partículas muito finas, caracterizando-o, portanto, como um silte argila, acomodando metais assimilados nas etapas do beneficiamento (CAREDDU; DINO, 2016; MARRAS *et al.*, 2017; MANHÃES; HOLANDA, 2008; SIVRIKAYA; KIYILD; KARACA, 2014). No estudo de Dino, Passarela e Marsan (2015), ao realizar a caracterização da lama, concluiu-se que é um resíduo com pH básico na faixa de 9,2 a 11,2, devido ao uso da cal durante o corte dos blocos em teares convencionais.

Careddu e Dino (2016) estudaram o resíduo proveniente de rochas silicáticas e outro de rochas carbonáticas. Os autores encontraram uma quantidade considerável de metais pesados (Cr, Cu, Ni) que são provenientes dos abrasivos utilizados, no caso do tear convencional. Já no tear diamantado, os autores encontraram altas concentrações de Co e Cu, que provavelmente provêm do desgaste do fio diamantado. Observa-se, que as características desse efluente são muito variáveis, e, portanto, são necessários mais estudos de caracterização e classificação.

Verifica-se, portanto, que a classificação dos resíduos se torna fundamental, tanto para a gestão adequada dos mesmos, como para usos futuros. No Brasil, existem a NBR 10004/2004, NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004 que trazem o procedimento para classificar um resíduo sólido. Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), a classificação de resíduos sólidos segue o fluxograma da Figura 4.

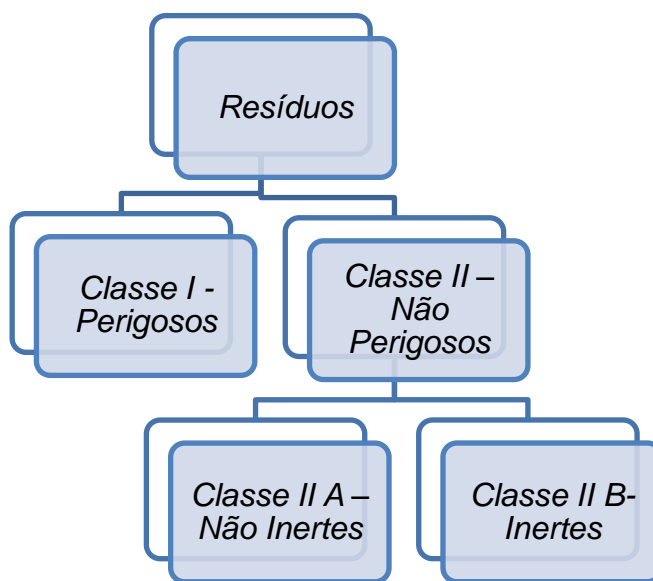


Figura 4- Esquema de Classificação de Resíduos Sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a).

O resíduo Perigoso - Classe I é aquele que possui características como inflamabilidade, patogenicidade, toxicidade, corrosividade e reatividade, podendo trazer riscos ao meio ambiente e ao homem. Para saber se o resíduo se enquadra nessa classe realiza-se o Teste de Lixiviação. Esse teste está detalhado na NBR 10005 (ABNT, 2004b).

Quando o resíduo é classificado em Classe II, ou seja, Não-Perigoso, pode ser classificado como: Inerte (Classe II-A) e Não-Inerte (Classe II-B). Esses resultados são obtidos pelo Teste de Solubilização, que consta na NBR 10006 (ABNT, 2004c). Um resíduo será considerado como Inerte quando nenhum de seus constituintes for solubilizado em concentrações superiores aos estabelecidos pelo anexo G da norma. O resíduo Não Inerte, embora não seja Perigoso, apresenta algumas características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Com relação ao resíduo de rocha ornamental, a classificação dos mesmos ainda é inconclusiva. Braga *et al.* (2010), realizaram a classificação de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. As amostras obtidas no desdobramento dos blocos do tear convencional e da politriz foram classificadas em Não Inerte, devido às concentrações das seguintes espécies químicas estarem acima do valor máximo permitido (VMP): Al, F⁻, Pb, Hg, Cl⁻, Fe, Cr, SO₄²⁻, Na, Mn e fenóis. Manhães e Holanda (2008) classificaram o resíduo de rocha ornamental também em Não Inerte, devido aos seguintes componentes estarem acima do VMP: Pb, Cr, Fe e Mn. A

mesma classificação foi obtida no estudo de Gonçalves, Moura e Dal Molin (2002), porém, agora com base no parâmetro F^- que estava acima do VMP.

Por outro lado, Freitas, Raymundo e Jesus (2012) classificaram o resíduo em Perigoso, baseado no pH, que em algumas amostras, estava acima do VMP ($\geq 12,5$), e Marras *et al.* (2017) classificaram o resíduo em Inerte com base na legislação italiana.

Vale ressaltar que todos estes estudos classificaram o resíduo recém-gerado. Logo, é importante estudar o efeito do envelhecimento desses resíduos para se obter análises mais conclusivas do mesmo, e a partir disso sugerir planos de gestão adequados e alternativas de reaproveitamento.

3.2.2. Comportamento dos principais constituintes do resíduo no ambiente

De fato, é importante conhecer os principais constituintes do resíduo de rocha ornamental, e como estes se comportam no meio ambiente. Portanto, neste tópico será apresentada uma breve revisão dos principais constituintes dos resíduos estudados neste trabalho.

- *Fenol*

Fenóis são compostos orgânicos que possuem um ou mais grupos OH ligados a um anel benzênico (SOLOMONS; FRUHLE, 2001). Sua origem está associada a atividades industriais, descargas domésticas e decomposição de matéria orgânica atingindo os corpos hídricos e o solo, sendo considerado um dos principais poluentes tóxicos liberados pelas indústrias (MICHALOWIZ; DUDA, 2007). A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA Nº 357 (BRASIL, 2005), estabelece um limite máximo permissível de fenóis totais, em lançamento de efluentes igual a 0,5 mg/L, e pela NBR 10004 (ABNT, 2004) o VMP no extrato solubilizado é 0,01 mg/L.

Alguns compostos fenólicos são altamente resistentes a biodegradação e podem ser transportados a longas distâncias pela água provocando diversos impactos negativos, como a mortandade de peixes (BOLAÑOS *et al.*, 2001).

Por apresentar alta reatividade, os compostos fenólicos tendem a reagir com outros componentes presentes no ambiente aquático, como compostos inorgânicos e microrganismos, dando origem a compostos mais nocivos, além de se combinarem com alguns cátions metálicos presente na água, aumentando sua ionização, e, conseqüentemente sua solubilidade (ANKU; MAMO; GOVENDER, 2017;).

Nos seres humanos, a presença do fenol provoca toxicidade. O consumo de água potável contendo alta concentração deste composto resulta em problemas no trato gastrointestinal e tremores musculares, além de causar danificações em cromossomos e apresentar potencial de indução a efeitos carcinogênicos (ANKU; MAMO; GOVENDER, 2017).

O fenol encontrado no resíduo de rocha ornamental é proveniente da etapa de polimento e resinagem, que consiste basicamente em aplicar resinas para eliminar imperfeições, rachaduras e trincas presentes nas rochas, como também proteger as superfícies das peças de manchas e ainda retardar o processo de corrosão. Essas resinas são chamadas de epóxis e são formadas através de uma reação de condensação da epicloridrina (composto organoclorado) e grupos fenólicos (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

- *Cloretos (Cl^-)*

A concentração de cloretos no solo está associada a fatores como irrigação, insumos utilizados durante a fertilização, salinas, entre outros, mas também depende das rochas. O basalto e dolomita apresentam acima de 0,50 g Cl^- /kg, e o arenito 0,02 g Cl^- /kg (GEILFUS, 2019).

Apresentam alta mobilidade, uma vez que dificilmente entram em reações de oxidação ou redução, logo, o estado de oxidação do mesmo não será alterado pelos microrganismos presentes no solo (MILLER *et al.*, 2011).

No resíduo de rocha ornamental, os cloretos provavelmente são provenientes do processo de resinagem, pois as resinas utilizadas na maioria das vezes são formadas por um composto organoclorado (C_3H_5ClO) (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014). A NBR 10004 (ABNT, 2004), estabelece que o limite máximo de cloretos no extrato solubilizado deve ser inferior a 250 mg/L.

- *Sulfatos (SO_4^{2-})*

A ocorrência de sulfato em águas subterrâneas ocorre pela dissolução do solo e das rochas, como o gesso (CaSO_4) e o sulfato de magnésio (MgSO_4) e pela oxidação da pirita (FeS_2) (PIVELLI, 2008).

São utilizados principalmente na indústria química, sendo lançados no ambiente através dos resíduos industriais. Ainda não foram reportados dados que indicam um limite de sulfato na água potável que possa causar riscos à saúde humana. Os estudos existentes relatam apenas que concentrações acima de 1000 mg/L podem ocasionar efeito laxante em humanos e alteração do sabor da água, como também provocar possível corrosão nos sistemas de distribuição de água (WHO, 2011).

No entanto, a Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) estabelece um limite de 250 mg/L de sulfato em água doce para consumo humano.

- *Fluoretos (F)*

Os fluoretos são liberados no meio ambiente de forma natural através do intemperismo e da dissolução de minerais. Durante o intemperismo, alguns minerais com flúor, como a criolita (Na_3AlF_6), são rapidamente decompostos, principalmente em condições ácidas. Também são liberados através da combustão do carvão e dos processos industriais, incluindo a fabricação de alumínio e o processamento de minério de fosfato (INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY–IPCS, 2018).

No solo, o transporte e a transformação do flúor são influenciados pelo pH e pela formação de complexos de alumínio e cálcio. A maior parte dos fluoretos é insolúvel no solo, e, portanto, pouco disponível para as plantas. Entretanto, em alta concentração de fluoretos, pH ácido (5,5 a 6,5) e baixo teor de argila/carbono orgânico, a solubilidade aumenta, e consequentemente, ocorre absorção pelas raízes das plantas (IPCS, 2018).

Na água, o transporte e transformação são influenciados pelo pH, dureza e presença de materiais de troca iônica, como as argilas. Normalmente, são transportados complexados com o alumínio (IPCS, 2018).

Para consumo humano, recomenda-se uma concentração de 1,4 mg/L (BRASIL, 2005). Apenas 10% do flúor ingerido é assimilado pelo organismo e fixado nos ossos e dentes. Em grandes quantidades se torna tóxico, provocando distúrbios gástricos e redução da capacidade urinária (FUNASA, 2012).

- *Chumbo (Pb)*

O chumbo está naturalmente presente em minerais como a galena (PbS), a anglesita (PbSO₄), a cerussita (PbCO₃), entre outros. Todavia, também podem estar presentes nos feldspatos, micas, zircão e na magnetita (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1966; REIMANN; CARITAT, 1998).

O chumbo na forma elementar não apresenta problema ambiental para muitas formas de vida, porém, ele se torna preocupante quando dissolvido, dando origem à sua forma iônica (BAIRD; CANN, 2011).

Quando se encontra sozinho, o chumbo não reage com ácidos diluídos, porém na presença de ar, uma pequena quantidade pode dissolver-se em ácido diluído, pois o mesmo é oxidado pelo oxigênio em ambientes ácidos, de acordo com a reação (BAIRD; CANN, 2011)



O Pb^{2+} obtido dessa reação traz contaminação. De acordo com a OMS, o limite máximo de chumbo permitido em água potável é de 0,01mg/L. Quando ingerido pelos seres humanos, o chumbo é depositado nos ossos, substituindo o cálcio, uma vez que os íons Pb^{2+} e Ca^{2+} são similares em tamanho (BAIRD; CANN, 2011).

Com relação ao limite de lixiviação, a Resolução Europeia 12457-2 (EN, 2004) estabelece um limite máximo de chumbo de 0,05 mg/L, enquanto no Brasil, esse valor é de 1,0 mg/L. O chumbo disponível no ambiente pode ser precipitado formando alguns minerais. Ettler e Johan (2014) verificaram que a liberação de chumbo proveniente de escória, em um período de 12 anos, foi significativamente controlada pela precipitação da cerussita (PbCO₃), Pb-fosfatos e anglesita (PbSO₄) e também por sorção em óxidos férricos.

- *Alumínio (Al)*

O alumínio é encontrado principalmente como silicato de Al, e também na forma de óxidos e hidróxidos, não ocorrendo, portanto, na forma elementar. Os principais minerais que contém este elemento são: a gibsitita (Al(OH)₃), a caolinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄), a andaluzita/silimanita (Al₂SiO₅), o coríndon (Al₂O₃), entre outros,

porém podem se hospedar nos feldspatos e nas micas (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1966; REIMANN; CARITAT, 1998).

Em solos com $\text{pH} < 5,5$ a mobilidade aumenta e provoca a dissolução e transporte de sais de Al, que são absorvidos por plantas e animais (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001; FRÉRY, G.; FRÉRY, N., 2004).

É um elemento essencial para certos organismos, porém, se torna tóxico aos peixes em pH baixo, e tóxico para as plantas e humanos, na forma de íons livres (REIMANN; CARITAT, 1998).

No ambiente aquático, a concentração de alumínio pode variar de acordo com os fatores físico-químicos e mineralógicos. Por exemplo, em pH neutro, a concentração do Al dissolvido varia de 0,001 a 0,05 mg/L, porém, tende a aumentar para 1 mg/L em águas mais ácidas ou com grande quantidade de matéria orgânica. De acordo com a WHO (2010), o limite máximo de alumínio na água potável deve ser 0,2 mg/L.

- *Ferro (Fe)*

O Fe pode ser encontrado nos minerais como hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), siderita (FeCO_3), pirita (FeS_2), entre outros. Pode se hospedar também nas olivinas, piroxênios, anfibólios, micas e granadas (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1966; REIMANN; CARITAT, 1998).

Apresenta comportamento geoquímico complexo, uma vez que possui facilidade na mudança de sua valência de acordo com as condições físico-químicas. Em níveis normais de pH, as concentrações do ferro no solo variam de 0,03 a 0,55 mg/L enquanto que em pH ácido, esse valor excede a 2 mg/L. Assim como outros micronutrientes, esse metal é solubilizado em meios ácidos, e tende a precipitar com o aumento do pH (BERTOSSO *et al.*, 2012; KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001).

O ferro contido no solo possui alta afinidade para formar complexos orgânicos e quelatos, o que contribui para a migração e também lixiviação do mesmo para as raízes das plantas, porém, altas concentrações (30-500 mg/L) deste elemento podem provocar risco de toxidez às plantas (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001; SILVA; RANNO, 2005).

- *Cobre (Cu)*

O Cu é um elemento que está presente nos minerais como calcopirita (CuFeS_2), malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), entre outros, sendo que na primeira, ocorre em maior quantidade. Pode ainda ser encontrado em alguns minerais que servem de hospedeiros, como por exemplo, as micas (biotita), piroxênios, anfibólios e a magnetita. Apresenta pouca mobilidade nos solos, porém, em solos muito ácidos e com baixo teor de matéria orgânica, a mobilidade tende a aumentar (REIMANN; CARITAT, 1998).

No ambiente, as plantas são capazes de armazenar quantidades significativas de cobre, e ao fazerem parte da cadeia alimentar, podem causar danos à saúde do homem (REIMANN; CARITAT, 1998).

Ao mesmo tempo em que é um nutriente essencial ele se torna um contaminante da água potável, pois passa para a água através da corrosão das tubulações. Nos países desenvolvidos a forma de exposição primária a este metal é por meio da comida e da água. De acordo com o IPCS é recomendado uma ingestão diária de 2-3 mg /dia para adultos, pois doses elevadas, provocam efeitos adversos no trato gastrointestinal (WHO, 2011).

- *Cádmio (Cd)*

Na forma natural, o Cd apresenta no solo concentrações inferiores a 0,3 mg/kg. As atividades humanas, principalmente a mineração e o uso de fertilizantes, tem causado uma deposição e conseqüentemente uma poluição considerável deste metal no meio ambiente, sendo responsável por 90% do cádmio presente na superfície terrestre (PAN *et al.*, 2010).

A presença do cádmio no solo provoca efeitos adversos, tais como a diminuição da decomposição da celulose e fixação do nitrogênio, como também da concentração de bactérias e fungos. Além desses fatores, este metal pode ser transferido facilmente para a cadeia alimentar, tornando-se, portanto, a principal via de contaminação em humanos e animais (FIRME; VILLANUEVA; RODELLA, 2014; JOHANSEN; RONN; EKELOUND, 2018).

Com relação ao Brasil, um estudo realizado por Dala Paula *et al.* (2018) mostrou que dentre os metais analisados (Cd, Cu e Pb) em amostras de solo e em alfaces, o cádmio foi o que apresentou o maior coeficiente de transferência, o que indica um risco potencial de acúmulo deste metal em vegetais em áreas urbanas contaminadas por este elemento. A concentração obtida no solo foi de 0,16 mg/kg.

Nos seres humanos, o Cd é responsável por doenças renais, osteoporose e até mesmo câncer. Uma das explicações para a toxicidade do cádmio nos seres vivos está ligada a sua similaridade com o micronutriente essencial, o zinco, uma vez que, esses dois elementos são absorvidos e transportados pelos mesmos caminhos e, portanto, adicionados nas mesmas estruturas. (JOHANSEN; RONN; EKELUND, 2018).

Em baixas concentrações, o cádmio é facilmente sorvido pelos constituintes do solo, como a argila e matéria orgânica ou até mesmo nas paredes celulares de alguns microrganismos. Esses processos são importantes, pois diminuem a concentração deste metal disponível, que ao se fixarem na forma sólida à matriz do solo, não apresentam toxicidade (JOHANSEN; RONN; EKELUND, 2018).

- *Zinco (Zn)*

O zinco é um elemento que desempenha um papel importante em processos biológicos, sendo essencial para o crescimento e reprodução de plantas e a saúde dos animais e seres humanos. Está presente nos minerais como a blenda (ZnS) e zincita (ZnO), mas pode se hospedar nas micas, piroxênios, magnetitas, etc. É considerado um elemento de fácil dispersão em águas subterrâneas, superficiais e sedimentos (REIMANN; CARITAT, 1998).

O zinco encontrado em águas superficiais e subterrâneas é proveniente da drenagem de minas, de resíduos industriais e principalmente da erosão de partículas presentes no solo, sendo encontrado, portanto, na forma de sais ou complexos orgânicos. Nas águas superficiais, a concentração não excede a 0,01mg/L e para águas subterrâneas este valor não ultrapassa a 0,05 mg/L. Para solos contaminados, o teor médio é de 97 mg/kg, enquanto que em solos não fertilizados e sem contaminação, a concentração média deste elemento é 64 mg/kg (NOULAS; TZIOUVALEKAS; KARYOTIS, 2018).

- *Bário (Ba)*

Na natureza este elemento ocorre de forma combinada, originando os minerais como a barita (BaSO_4) e whiterita (BaCO_3). Em rochas ígneas e sedimentares é encontrado em quantidades traço (IPCS, 2018). Sua concentração no solo varia em média entre 265 e 835 mg/kg e apresenta baixa solubilidade, portanto, a absorção

pelas plantas geralmente é baixa (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 2001). Cappuyns (2018), observou que em pH ácido a liberação do bário é menor, e isso ocorre porque há formação da barita (BaSO_4), um mineral que não apresenta toxicidade pois é muito insolúvel.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, o bário não é carcinogênico para humanos após exposição oral, porém, por inalação não se pode afirmar o mesmo (US EPA, 2005). Com relação à água potável, a portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece um limite de 0,7 mg/ L para o bário e seus compostos (BRASIL, 2004).

As indústrias metalúrgicas são um problema com relação à lixiviação deste metal. Ettler e Johan (2014) observaram uma liberação significativa de bário 10 vezes maior que o limite para resíduos perigosos em escórias de fundição, por isso, atenção especial deve ser dada a este elemento também. A NBR 10004 (ABNT, 2004) estabelece que o VMP no extrato lixiviado para o Ba seja < 70,0 mg/L.

- *Cromo (Cr)*

A alta concentração de cromo está associada às rochas máficas e ultramáficas, sendo que em rochas ígneas e sedimentares, a concentração é mais baixa, variando entre 5 a 120 ppm (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001).

Os principais compostos de cromo que ocorrem na forma natural são o Cr^{3+} e o Cr^{6+} . A maior parte do Cr^{3+} está presente principalmente na cromita (FeCr_2O_4), um mineral resistente ao intemperismo, e por isso responsável pela maior parte do cromo em material residual. Porém, em condições de oxidação progressiva, o cromo forma o íon cromato (CrO_4^{2-}), que apresenta mobilidade razoável e é facilmente sorvido por argilas (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001).

Segundo Reimann e Caritat (1998) a mobilidade do cromo é baixa em todos os ambientes, ou seja, oxidantes, redutores, ácidos, neutros ou alcalinos. A forma Cr^{6+} é altamente tóxica e apresenta maior mobilidade que a Cr^{3+} no solo, porém, reduz em algumas semanas para esta última que é considerada inofensiva.

O VMP do cromo para água potável de acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde é de 0,05 mg/L (BRASIL, 2004). Para lançamentos de efluentes provenientes de qualquer fonte poluidora, a Resolução do CONAMA nº 357/2005 estabelece um limite máximo de 0,5 mg/L de cromo total. Na natureza, as

concentrações geralmente encontradas em águas potáveis são inferiores a 0,002 mg/L, porém, concentrações de 0,12 mg/L já foram reportadas (WHO, 2011).

Com relação aos efeitos à saúde humana, o Cr^{6+} possui mais facilidade em permeabilizar as membranas celulares do que o Cr^{3+} , ocasionando modificações nas estruturas do DNA, sendo considerado, portanto, como tóxico e mutagênico (FARAG *et al.*, 2006).

- *Manganês (Mn)*

O Mn é um elemento essencial para os microrganismos do solo e plantas, porém, concentrações acima dos limites ideais podem trazer toxicidade aos seres vivos. De acordo com Prezotti *et al.* (2007) a concentração de 12 mg/L de Mn no solo pode ser considerada um valor alto. Em altas concentrações, o manganês pode modificar a cor da água, causar manchas e sujeira nos sistemas de abastecimento.

Na saúde humana, os efeitos causados variam de acordo com a exposição, com as espécies químicas, com a idade e o estado nutricional do indivíduo, podendo afetar o sistema nervoso de forma irreversível. Nos animais também podem provocar efeitos neurotóxicos (BASTIDA *et al.*, 2018).

- *Sódio (Na)*

O Na encontrado no meio ambiente é abundante na forma de sais, principalmente na forma de cloretos nos oceanos. Nas rochas, está presente nos plagioclásios, principalmente na albita (PROCHNOW; LIBERMAN, 2009).

Em águas potáveis, a Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) estabelece um limite de 200 mg/L de sódio. Grandes quantidades de Na no ser humano provocam hipertensão, porém, não se pode associar o Na contido na água como a causa direta dessa doença, uma vez que o mesmo está presente em praticamente todos os alimentos (WHO, 2011).

A presença de Nano solo pode provocar problemas de salinidade e toxidez, ocasionando o murchamento e a morte de plantas (PREZOTTI *et al.*, 2007).

- *Prata (Ag)*

A prata é considerada um metal raro de ocorrência natural, encontrada frequentemente associada a outros elementos (IPCS, 2018). Pode-se dizer que este metal possui as mesmas características do cobre, porém, a sua concentração é 1000 vezes inferior. É liberada para o meio ambiente através do intemperismo e em seguida precipitada em locais ricos em compostos de enxofre (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001).

Na natureza, pode formar espécies iônicas como o Ag^{2+} , Ag^+ , AgO^+ , ou espécies complexas com o Cl e S principalmente, tais como AgCl_2^- , AgCl_3^{2-} , $\text{Ag}(\text{HS})_2$, etc. Quanto à mobilidade, esta é alta em solos com pH acima de 4, e há indícios de que o MnO_2 tem uma boa afinidade com Ag, sendo portanto, o sorvente mais indicado. As substâncias húmicas do solo também contribuem de forma positiva para a adsorção deste metal (KABATA PENDIAS; PENDIAS 2001).

3.3. Gestão de resíduos sólidos

Em 2012 eram gerados no mundo cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. Estima-se que até 2025 este volume chegará a 2,3 bilhões de toneladas (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

No ranking dos maiores produtores de resíduos sólidos estão os EUA, seguidos pela China, Brasil, Índia e México (SENADO FEDERAL, 2014).

Com relação à destinação dos resíduos gerados, os países desenvolvidos, como Holanda, Alemanha e Suécia, apresentam uma porcentagem de reciclagem maior, enquanto que em Portugal, por exemplo, esse valor é aproximadamente 10%, e a maior parte segue para aterros (Figura 5).

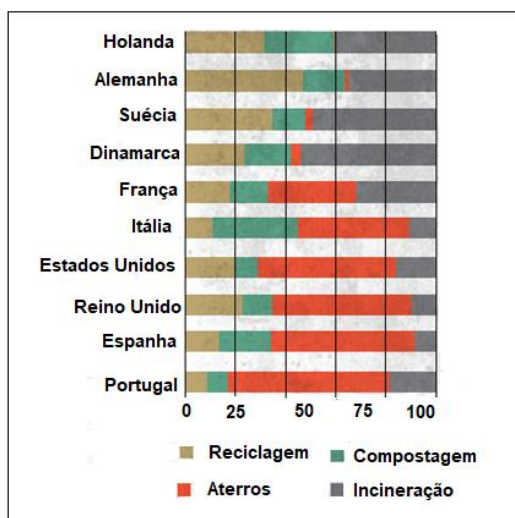


Figura 5—Destinação dos resíduos por países (%). Fonte: Universidade de Columbia (EUA) apud Senado Federal (2014), modificado pelo autor.

De modo geral, a maior parte dos resíduos sólidos produzidos ainda é destinada para aterros, como mostra o gráfico abaixo:

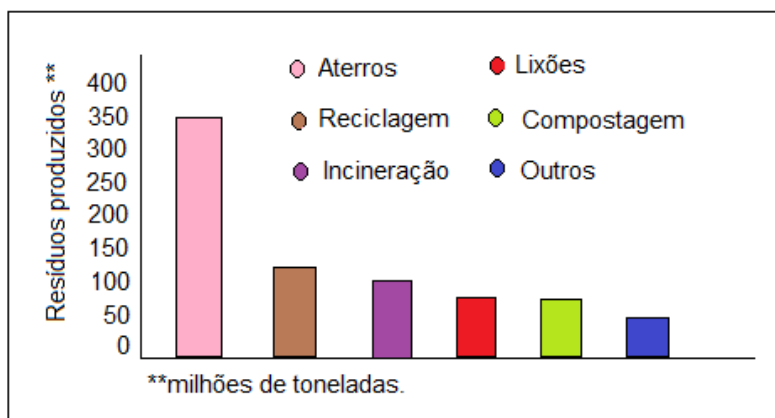


Figura 6—Quantidade de resíduos produzidos (em milhões de toneladas) e sua destinação. Fonte: Banco Mundial apud Senado Federal (2014), modificado pelo autor.

A geração e o gerenciamento de resíduos sólidos são problemas globais que têm urgência para serem solucionados, e o Brasil, com uma economia em desenvolvimento, não está imune a esse problema. Em 2017, foi responsável por produzir cerca de 78,4 milhões de toneladas de resíduo sólido urbano, sendo que 41% desses resíduos foram depositados em locais inadequados (ABRELPE, 2017). Portanto, o crescimento não é o único agravante, mas a gestão correta desses resíduos também é uma preocupação (JABBOUR *et al.*, 2014). Diante de tal problemática, foi criada a Lei 12.305/2010 que trata especificamente dos resíduos

sólidos no Brasil, e no estado do Espírito Santo, a Instrução Normativa 011/2016 que estabelece os critérios para as atividades que envolvem a lama abrasiva.

3.3.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305/2010, contém informações importantes que permitem o avanço do país no que diz respeito aos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Assim, a PNRS tem como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado) (BRASIL, 2010).

Existe uma diferença entre resíduo e rejeito que deve ser destacado. Segundo a NBR 10004 (ABNT,2004a), os resíduos sólidos:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.(ABNT 10004, 2004a, p. 7).

O rejeito pode ser considerado um tipo específico de resíduo sólido. Assim, um resíduo é denominado rejeito quando não há mais possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem do mesmo, e o mais correto ambientalmente a se fazer é encaminhá-lo para um aterro licenciado ou então para incineração.

Um ponto relevante na PNRS está contido no Artigo 6º, Parágrafo II da referida Lei, que estabelece obrigações aos empresários, ao poder público e aos cidadãos, bem como princípios, diretrizes, objetivos, e instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, a proteção e a recuperação da qualidade do meio ambiente e a promoção

da saúde pública, portanto, é uma responsabilidade compartilhada, que foi denominada logística reversa (MARCHI, 2011).

Segundo Marchi (2011) a logística de fluxos de retorno, ou logística reversa, é uma ferramenta que recupera produtos, reintegrando-os aos ciclos produtivos. Essa ferramenta pode ser considerada como um instrumento de desenvolvimento econômico e social que se caracteriza por atitudes que visam facilitar a coleta e a devolução dos resíduos sólidos aos seus geradores, para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, na forma de novos insumos, visando a não geração de rejeitos.

A PNRS criou metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos depósitos de resíduos, popularmente chamados de lixões. As prefeituras terão que construir aterros sanitários adequados ambientalmente, onde só poderão ser depositados os resíduos sem qualquer possibilidade de reaproveitamento ou compostagem. Será proibido, por exemplo, retirar lixo, morar ou criar animais em aterros sanitários. A responsabilidade de tal medida é do governo municipal (KONRAD; CALDERAN, 2011).

A PNRS também traz responsabilidades para a iniciativa privada. A mesma terá que elaborar seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

Embora exista a Legislação voltada para este tema, os índices de reciclagem são baixos no Brasil, apenas 11% dos resíduos são reciclados. Esse índice coloca o Brasil à frente apenas de países como República Tcheca, Portugal, Argentina, Colômbia e Hungria (MARCHI, 2011; BRASIL, 2010).

3.3.2. Instrução Normativa Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA 011/2016

No Estado do Espírito Santo, o principal produtor de rochas ornamentais do país, foi criada a Instrução Normativa - IN 011/2016, que estabelece critérios e procedimentos para a localização, instalação, operação e monitoramento da atividade de disposição de lama do beneficiamento de rochas ornamentais, visando à concessão de licenças ambientais.

De acordo com esta Instrução, a lama abrasiva é definida como:

Resíduo sólido não perigoso Classe II, resultante dos processos de beneficiamento de rochas ornamentais, composto basicamente de pó de rocha com ou sem elementos abrasivos e demais insumos do processo de beneficiamento (IN 011/2016, p.2, 2016).

Segundo essa definição, a lama abrasiva não é definida em Não Inerte ou Inerte, apenas quanto à sua periculosidade, sendo considerada Não Perigosa.

Outra definição desta IN é:

O aterro de lama abrasiva é a área onde são empregadas técnicas de disposição de lamas do beneficiamento de rochas ornamentais no solo, de forma a possibilitar seu uso futuro, conforme princípios de engenharia, depositando os resíduos na menor área possível e reduzindo-os ao menor volume permissível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (IN 011/2016, p.2, 2016).

Tal definição instrui os responsáveis pela formação da lama abrasiva quanto ao destino ambientalmente correto que as mesmas devem ter. Quanto às orientações para construção dos aterros, pode-se destacar: a presença de sistema de impermeabilização, poços de monitoramento de água subterrânea, a umidade dos resíduos que deve ser de 30% em base seca para que seja transportada com segurança, entre outros.

Com relação aos poços de monitoramento, devem ser feitas análises semestrais dos seguintes parâmetros: pH, teores de alumínio (Al), ferro (Fe), chumbo (Pb), bário (Ba), cádmio (Cd), prata (Ag), cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), vanádio (V), manganês (Mn), mercúrio (Hg), cromo (Cr), cloreto (Cl⁻), fenóis e fluoretos (F⁻).

A IN 11/16 afirma ainda que seja responsabilidade da empresa geradora do resíduo a segregação dele, visando o seu reaproveitamento. Caso a empresa opte por depositar no ambiente esse resíduo, a IN afirma que não é permitida a deposição sem os devidos controles de prevenção à degradação e à poluição hídrica, atmosférica e do solo.

O não cumprimento das exigências contidas nesta Instrução Normativa poderá acarretar a aplicação das penalidades previstas em Lei, que serão determinadas de acordo com a degradação ambiental e a poluição causada (Artigo 16º).

Esse conjunto de leis contribui de forma direta para a correta destinação dos resíduos sólidos e, conseqüentemente, para uma boa gestão dos mesmos, diminuindo assim a geração de passivos ambientais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse item aborda os materiais e os procedimentos executados para obtenção dos dados.

4.1. Materiais estudados

Os resíduos finos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais estudados neste trabalho foram coletados em depósitos considerados antigos e que estão desativados, construídos a mais de 10 anos no município de Cachoeiro de Itapemirim. Esses resíduos foram denominados resíduos antigos (RAs). Os resultados que caracterizam esses materiais foram comparados com dados publicados em trabalhos anteriores, que analisaram resíduos coletados no parque de beneficiamento, ainda sob a forma de lama abrasiva recém-descartada. Esse material, analisado imediatamente após a coleta, foi aqui denominado de resíduos novos (RNs).

4.2. Amostragem dos resíduos antigos (RAs) e compilação de dados de resíduos novos (RNs)

Os RAs foram coletados em quatro depósitos situados no município de Cachoeiro de Itapemirim - ES. Para coletar o RA, utilizou-se um trado mecânico que perfurou os depósitos para coletar amostras em profundidade. Em cada um dos quatro depósitos amostrados foram feitos três furos de sondagem e, em cada furo, foram coletadas amostras a um e a dois metros de profundidade, totalizando seis amostras por depósito e 24 amostras no total. A amostragem seguiu os procedimentos da NBR 10007 (ABNT, 2004d). Na Figura 7 estão apresentados um dos depósitos estudados e o esquema de coleta das amostras.

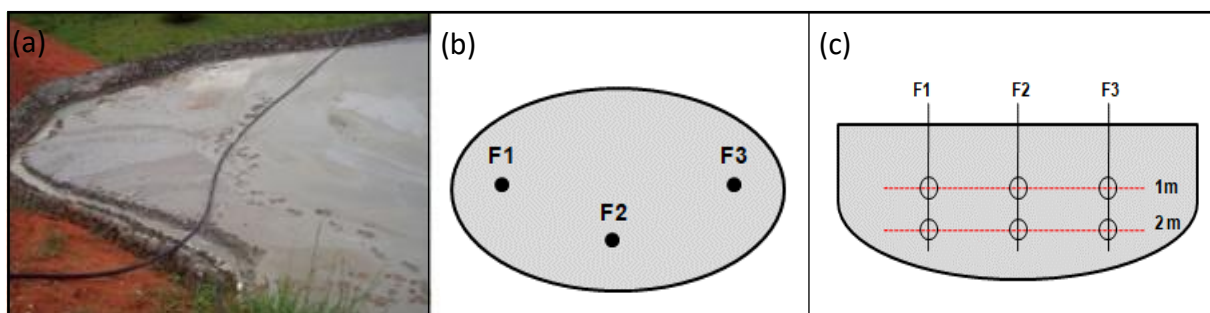


Figura 7- Esquema de coleta de amostras em um depósito de resíduo, mostrando (a) vista panorâmica em um dos depósitos estudados; (b) a localização, em planta, dos três furos de sondagem e (c) perfil do depósito com furos e pontos de amostragem em cada furo, nas profundidades de 1 e 2 metros.

Os dados obtidos dos resíduos novos (RNs) foram coletados da literatura conforme disponível por Braga *et al.* (2010); Manhães e Holanda (2008), outros foram fornecidos por uma empresa situada em Castelo - ES, e o restante são dados ainda não publicados pertencentes ao grupo de pesquisa em que esta autora está inserida. Foram obtidos, desta forma, dados referentes a 24 amostras de RN em termos de classificação dos resíduos conforme ABNT (2004). Todos os procedimentos de classificação destes materiais seguiram as mesmas normas técnicas utilizadas neste trabalho. As demais amostras de RN foram utilizadas em termos de caracterização, totalizando 71 amostras.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as codificações adotadas neste trabalho para os RAs e RNs.

Tabela 1 – Codificação adotada para os resíduos antigos (RAs)

Nomenclatura da Amostra	Código da Amostra	Significado da Codificação
1	D1-F1-1m	Furo 1 no depósito 1 a 1 m de profundidade
2	D1-F1-2m	Furo 1 no depósito 1 a 2 m de profundidade
3	D1-F2-1m	Furo 2 no depósito 1 a 1 m de profundidade
4	D1-F2-2m	Furo 2 no depósito 1 a 2 m de profundidade
5	D1-F3-1m	Furo 3 no depósito 1 a 1 m de profundidade
6	D1-F3-2m	Furo 3 no depósito 1 a 2 m de profundidade
7	D2-F1-1m	Furo 1 no depósito 2 a 1 m de profundidade
8	D2-F1-2m	Furo 1 no depósito 2 a 2 m de profundidade
9	D2-F2-1m	Furo 2 no depósito 2 a 1 m de profundidade
10	D2-F2-2m	Furo 2 no depósito 2 a 2 m de profundidade
11	D2-F3-1m	Furo 3 no depósito 2 a 1 m de profundidade
12	D2-F3-2m	Furo 3 no depósito 2 a 2 m de profundidade
13	D3-F1-1m	Furo 1 no depósito 3 a 1 m de profundidade

14	D3-F1-2m	Furo 1 no depósito 3 a 2 m de profundidade
15	D3-F2-1m	Furo 2 no depósito 3 a 1 m de profundidade
16	D3-F2-2m	Furo 2 no depósito 3 a 2 m de profundidade
17	D3-F3-1m	Furo 3 no depósito 3 a 1 m de profundidade
18	D3-F3-2m	Furo 3 no depósito 3 a 2 m de profundidade
19	D4-F1-1m	Furo 1 no depósito 4 a 1 m de profundidade
20	D4-F1-2m	Furo 1 no depósito 4 a 2 m de profundidade
21	D4-F2-1m	Furo 2 no depósito 4 a 1 m de profundidade
22	D4-F2-2m	Furo 2 no depósito 4 a 2 m de profundidade
23	D4-F3-1m	Furo 3 no depósito 4 a 1 m de profundidade
24	D4-F3-2m	Furo 3 no depósito 4 a 2 m de profundidade

Tabela 2 – Codificação adotada para os resíduos novos (RNs)

Nomenclatura		Significado da codificação
25	Fonte do dado: Manhães e Holanda (2008)	
26	Fonte do dado: Moreira, Freire e Holanda (2003)	
27	Fonte do dado: Santos, Destefani e Holanda (2003)	
28	Fonte do dado: Santos, Destefani e Holanda (2003)	
29	Fonte do dado: Santos, Destefani e Holanda (2003)	
30	Fonte do dado: Santos, Destefani e Holanda (2003)	
31	Resíduo coletado diretamente em um tear diamantado	
32	Resíduo coletado diretamente em um tear convencional	
33	Fonte do dado: Babisk (2009)	
34	Fonte do dado: Gonçalves, Moura e Dal Molin (2002)	
35	Fonte do dado: Taguchi et al (2014)	
36	Fonte do dado: Torres (2009)	
37	Fonte do dado: Souza, Pinheiro e Holanda (2010)	
38	Fonte do dado: Reis (2015)	
39	Fonte do dado: Sivrikaya e Karaca (2014)	
40	Fonte do dado: Menezes (2005)	
41	Fonte do dado: Menezes (2005)	
42	Fonte do dado: Menezes (2005)	
43	Fonte do dado: Manca (2014)	
44	Fonte do dado: Manca (2014)	
45	Fonte do dado: Wan & Hu (2018)	
46	Fonte do dado: Park (2016)	
47	Fonte do dado: Vazzoler (2018)	

48	Fonte do dado: Mello (2006)
49	Amostras de resíduos novos obtidas no processo de serragem
50	Amostras de resíduos novos obtidas no processo de serragem
51	Amostras de resíduos novos obtidas no processo de polimento
52	Amostras de resíduos novos obtidas no processo de polimento
53	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
54	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
55	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
56	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
57	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
58	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
59	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
60	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
61	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
62	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
63	Fonte do dado: Braga et al. (2010)
64	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
65	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
66	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
67	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
68	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
69	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
70	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram
71	Dados disponibilizados pela empresa Bramagram

4.3. Caracterização dos resíduos

Os resíduos foram caracterizados quanto ao tamanho de grão, composição química, composição mineralógica e morfologia.

4.3.1. *Análise granulométrica*

A separação das frações granulométricas das amostras dos RAs foi realizada no Laboratório de Engenharia Química da UFES no Campus deAlegre, conforme os

procedimentos da NBR 7217 (ABNT, 1987). Inicialmente, as amostras foram levemente destorroadas com auxílio de um pistilo de borracha a fim de ocasionar a desagregação de aglomerados. A análise foi realizada em oito amostras do RA, sendo duas de cada depósito, situadas a 1m e 2m de profundidade. O resíduo foi peneirado durante 10 minutos na frequência de 10 Hz, em agitador com jogo de peneiras acoplado.

Para distribuição dos grãos, utilizou-se de uma série de peneiras na seguinte ordem: mesh (#)60 ($<250\mu\text{m}$), #115 ($250\mu\text{m}-125\mu\text{m}$), #250 ($125\mu\text{m}-63\mu\text{m}$), #325 ($63\mu\text{m}-45\mu\text{m}$) e o fundo ou caixilho ($< 45\mu\text{m}$), representando, portanto, as seguintes classes do tamanho de grão: areia média, areia fina, areia muito fina, silte grosso e silte fino/argila, respectivamente. Após o peneiramento, as amostras foram pesadas e as massas convertidas em porcentagem retida.

4.3.2. *Composição Mineralógica*

A composição mineralógica dos resíduos foi determinada por difratometria de raios X (DRX) na Universidade de São Paulo (USP) em Lorena. As amostras foram trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de #325 e, em seguida, encaminhadas em forma de pó para identificação das fases cristalinas. O equipamento utilizou radiação de Mo- $k\alpha$ ($\lambda=0,709319 \text{ \AA}$) no intervalo angular 2θ de 10° a 60° . As fases cristalinas foram interpretadas por meio dos arquivos JCPDS (*Joint Committeon Powder Diffraction Standards*).

4.3.3. *Composição Química*

A análise química dos resíduos foi realizada por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX), no laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. O equipamento realiza as análises em forma de óxidos e as amostras foram preparadas em forma de pastilhas.

Para preparação das pastilhas, foram homogeneizados 8,0 gramas de cada amostra e 1,6 g do ligante da Oregon Labware em almofariz e colocadas em uma matriz

redonda de 37 mm de diâmetro. A matriz foi então submetida a uma pressão total de 10 toneladas durante sete minutos em uma prensa hidráulica da marca Vonder – VPH 15, produzindo pastilhas circulares e homogêneas (Figura 10)

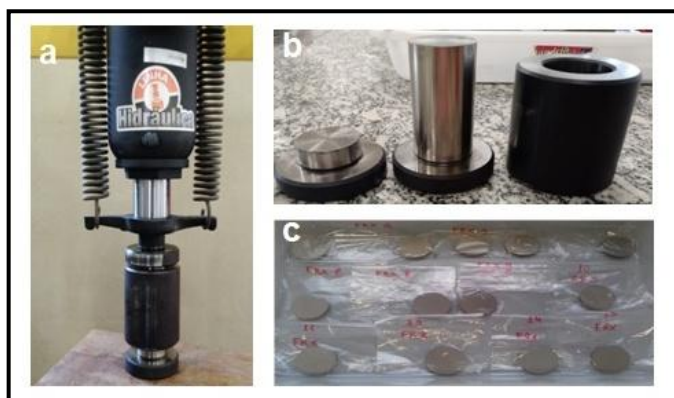


Figura 8 – (a) Prensa utilizada para confecção de pastilhas para FRX, (b) partes da matriz: tampa, pistão de fundo e envoltório e (c) pastilhas confeccionadas.

A perda ao fogo (PF) foi realizada no laboratório de Engenharia Química (LEQ 2) da UFES no campus Alegre, e seguiu os procedimentos do Laboratório de análise de Minerais e Rochas (LAMIR). As amostras foram aquecidas a 1000° C por duas horas em forno mufla, marca Flyever, modelo ForteLab, com rampa de 5°C por minuto.

Para o cálculo da PF utilizou-se a seguinte Equação:

$$PF = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\% \quad (2)$$

Onde, *PF* representa o índice de perda ao fogo dado em porcentagem; *M_i* é a massa inicial do resíduo em gramas antes do aquecimento e *M_f* é a massa final do resíduo em gramas depois da queima e em temperatura ambiente.

4.3.4. Microestrutura dos resíduos

A análise microscópica foi realizada no Laboratório de Ultraestrutura Celular Carlos Alberto Redins (LUCCAR), da UFES no Campus Maruípe. Foram analisadas seis amostras, dentre as quais, quatro foram do RA (uma amostra de cada depósito - 5,

12, 16 e 22) e duas amostras de RN, denominadas DW e VB. Estas foram coletadas diretamente na saída do tear, sendo DW proveniente de um tear diamantado e VB de um tear convencional.

As amostras foram destorroadas, metalizadas com uma camada de ouro como material condutor e por fim imageadas com aumento de 150x, 1000x e 4500x em um microscópio eletrônico de varredura, da JEOL, JSM 6610LV com velocidade de aceleração de 25 kV.

4.4. Classificação dos resíduos

O resíduo foi classificado de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a) e seus anexos. Para tal, foram realizados os Testes de Lixiviação e Solubilização.

Para realização do Teste de Lixiviação – foram seguidos os procedimentos da NBR 10005 (ABNT, 2004b). Pesou-se 100 g do resíduo seco, com tamanho inferior a 9,5 mm, e transferiu-se para o frasco de lixiviação e foi adicionada a solução de extração que varia em função do valor do pH do resíduo, se o mesmo for inferior a 5, utiliza-se a solução de extração 1, que contém ácido acético glacial, água deionizada e isenta de orgânicos, e hidróxido de sódio (NaOH). Se o pH for superior a 5, utiliza-se a solução de extração 2, que é formada por ácido acético glacial e água deionizada e isenta de orgânicos. Após feito isso, os frascos foram fechados com fita de politetrafluoretileno (PTFE) para evitar vazamento, e agitados por 18 horas à temperatura ambiente com rotação de 30 rpm em agitador rotatório.

Após esse período, as amostras foram filtradas em aparelho de filtração pressurizado, com filtro de fibra de vidro isento de resinas e com porosidade de 0,6 µm. O filtrado obtido foi denominado extrato lixiviado e conduzidos para as análises de concentrações dos parâmetros listados na Tabela 3. Esse teste foi realizado em um laboratório particular.

Para realização do Teste de Solubilização, foram seguidos os procedimentos da NBR 10006 (ABNT, 2004c). O resíduo seco foi triturado em almofariz e 50 g do mesmo foram diluídos em 200 mL de água deionizada e isenta de orgânicos, em agitação por cinco minutos ea baixa velocidade. Logo após, o frasco foi vedado com filme PVC e a mistura permaneceu em repouso por sete dias em uma temperatura

ambiente de 25°C. Depois dos sete dias, a mistura foi filtrada em membrana filtrante de 0,45 µm de porosidade. O filtrado foi definido como extrato solubilizado.

Foram medidos os valores de pH dos extratos solubilizados, e, logo após, as amostras seguiram para as análises de concentração dos elementos traços (Tabela 3).

As concentrações dos elementos traços em ambos os testes foram obtidas a partir da análise de Plasma por Acoplamento Indutivo (ICP), que é uma técnica analítica muito utilizada para detecção de metais em nível de parte por bilhão (ppb). O fenol, que é um composto orgânico, foi identificado por espectrometria UV-VIS.

Os dados obtidos nos testes de lixiviação e solubilização foram comparados com os anexos F e G da NBR 10004 (ABNT, 2004a) para verificar a existência de concentrações acima do valor máximo permitido (VMP) para a classificação dos resíduos. A Tabela 1 representada a seguir lista os parâmetros analisados.

Tabela 3 - Parâmetros analisados no extrato lixiviado e solubilizado.

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cl ⁻	Cu	Cr	F ⁻	Fe	Hg	Mn	Na	Pb	Se	SO ₄ ²⁻	Zn	Fenol
SOL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
LIX	X		X	X	X			X	X		X			X	X			X

SOL: parâmetro analisado no extrato solubilizado

LIX: parâmetro analisado no extrato lixiviado

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados obtidos da caracterização e classificação dos resíduos novos e antigos.

5.1. Análise granulométrica dos resíduos

Na Tabela 4 são apresentadas as frações médias retidas do RA em cada peneira utilizada.

Tabela 4 – Porcentagem retida acumulada em cada fração para o RA.

Mesh	#60	#115	#250	#325	Caixilho
Tamanho da partícula (mm)	0,250	0,125	0,063	0,045	< 0,045
D1-1m	0,8221	7,67	27,65	73,04	100,00
D1-2m	0,62	4,98	28,75	38,76	100,00
D2-1m	4,10	14,69	43,30	70,20	100,00
D2-2m	1,51	8,74	33,30	62,90	100,00
D3-1m	2,63	9,42	31,10	62,13	100,00
D3-2m	3,20	9,54	42,17	70,56	100,00
D4-1m	3,62	14,44	47,79	72,91	100,00
D4-2m	2,70	6,70	61,92	79,70	100,00

Verifica-se que a maior parte do RA possui tamanho de grão pequeno, pois, mais de 60%, apresentou diâmetro menor que 63 μ m, considerado, portanto, como sendo um material de granulação silte grosso e silte fino/argila.

Analisando os dados obtidos para o conjunto RN disponível da literatura, Marras *et al.* (2017), observaram que 90% da amostra do resíduo de rocha ornamental possui tamanho de grão inferior a 20 μ m, logo, pode ser considerado como um silte fino/argila. No estudo de Manhães e Holanda (2008), o resíduo analisado apresentou aproximadamente 75% dos grãos menores que 20 μ m. O mesmo ocorreu no estudo de Sivrikaya, Kiyild e Karaca (2014), onde 80% da amostra apresentaram tamanho de grão menor que 20 μ m. Comparando os dois momentos,

RA e RN, verifica-se que o RA possui uma granulação ligeiramente mais grossa que o RN. Tal ocorrência pode estar associada com a sedimentação das partículas no meio ambiente com o passar dos anos, o que resulta em grãos de tamanhos maiores.

5.2. Composição química dos resíduos

A Figura 9 apresenta a comparação obtida da composição química para o grupo RA e o grupo RN.

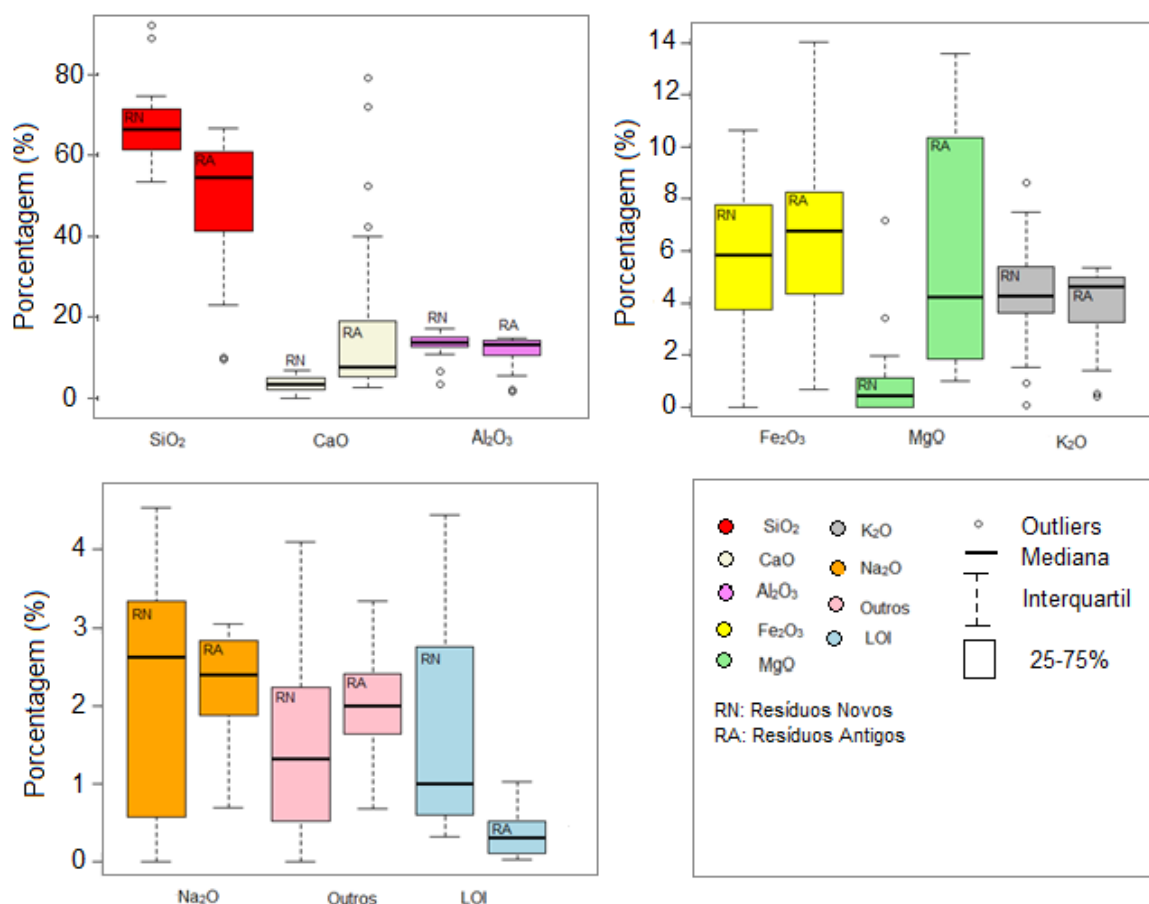


Figura 9– Composição química dos resíduos estudados obtidos pela técnica de FRX.

Comparando as composições químicas obtidas no RN e RA, verifica-se que de modo geral, não apresentaram diferenças significativas, exceto os elementos Ca, Fe e Mg que apresentaram uma faixa de valores maior no conjunto RA. No caso do Ca e Fe, tal ocorrência está associada ao uso da gralha de aço e da cal adicionada

no processo de serragem, que provavelmente ocorreu em tear convencional, visto que era o método mais comum no passado (BRAGA *et al.*, 2010; MOREIRA; FREIRA; HOLANDA, 2003). O Magnésio variou aproximadamente entre 1-14% no RA, o que se explica pelo fato, de um dos depósitos analisados ter recebido maior quantidade de resíduos de mármore dolomítico que os demais.

Os elementos denominados de "Outros" (Ti, Ba, P, Mn, S, Zr, Zn) apresentaram composição química inferior a 1%, e por isso foram agrupados.

5.3. Composição mineralógica dos resíduos

A Figura 10 apresenta os difratogramas para os resíduos antigos (a, b, c e d) e os novos (e, f, g e h).

A composição mineralógica dos resíduos estudados apresentou como minerais principais aqueles pertencentes ao grupo de rochas silicáticas, como quartzo, feldspatos potássicos e sódicos e as micas (DANA, 1974).

De modo geral, os minerais encontrados nos resíduos depositados não são diferentes dos resíduos recém-gerados. Os feldspatos potássicos e sódicos e o quartzo apareceram em quase todas as amostras analisadas, exceto no difratograma d, que é proveniente de um dos depósitos estudados, onde se concentraram a calcita, dolomita e o quartzo, uma vez que neste depósito, há predominância de resíduos oriundos de rochas carbonáticas, e, portanto, a presença destes minerais é mais comum. Porém, a presença de anortoclásio e quartzo indicam que neste depósito também há mistura de resíduos de rochas silicáticas, como tipicamente é feito no armazenamento dos resíduos.

A presença da hematita está associada ao uso da granalha de aço utilizada durante o processo de corte da rocha. Enquanto que a calcita está relacionada com a predominância de resíduos de rochas carbonáticas presente em um dos depósitos analisados no caso do RA. Os demais difratogramas construídos para as amostras do RA encontram-se disponíveis no Apêndice A deste trabalho.

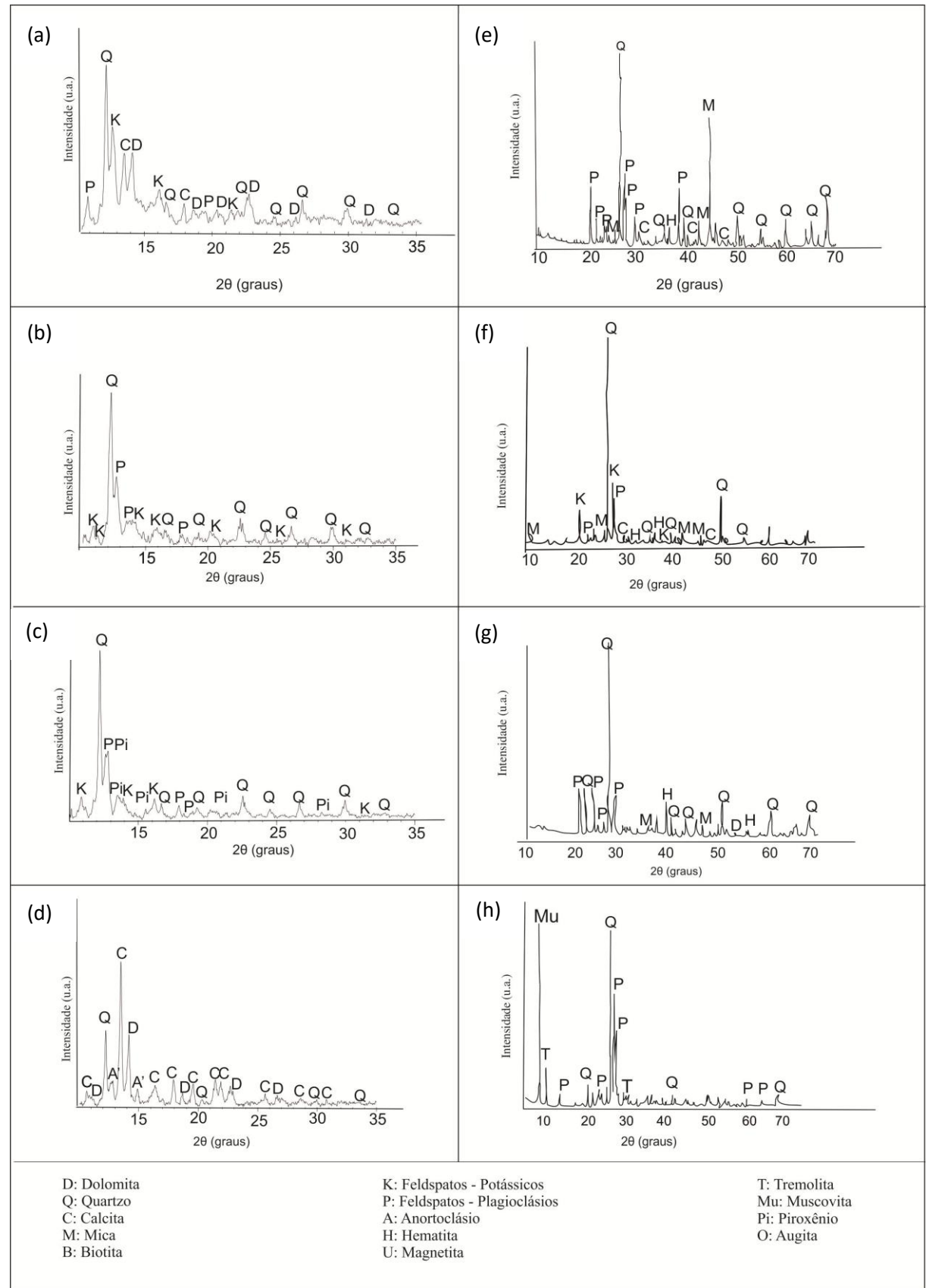


Figura 10–Difratogramas dos resíduos. (Onde, (a), (b), (c) e (d) representam respectivamente as amostras 2, 7, 14 e 24, e (e), (f), (g) e (h) as amostras 25, 26, 34 e 37).

A Tabela 5 relaciona os principais minerais encontrados na análise de difração por raios X com suas respectivas fórmulas químicas.

Tabela 5 – Relação dos principais minerais encontrados nos resíduos de rochas ornamentais estudados e suas respectivas fórmulas químicas (MHE, 2018).

Mineral	Fórmula Química
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Quartzo	SiO_2
Calcita	CaCO_3
Mica	$\text{X}_1\text{Y}_2\text{-3Z}_4\text{O}_{10}(\text{W})_2$ (X=K, Na ou Ca, Y=Al, Mg, Fe, Ti ou Li, Z=Si ou Al)
Biotita	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$
Feldspatos potássicos	XZ_4O_8 (X=K, Na e Z=Si, Al)
Feldspatos plagioclásios	XZ_4O_8 (X= Na, Ca e Z=Si, Al)
Anortoclásio	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
Hematita	Fe_2O_3
Magnetita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2\text{O}_4$
Tremolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Muscovita	$\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$
Piroxênio	$\text{X}_{n-p}\text{Y}_{o+p}\text{Z}_2\text{O}_6$ (X=Mg ou Fe, Y=Mg, Fe, Mn, Li, Ni, Al, Fe, Cr, Ti, Z=Si)

5.4. Morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos resíduos

A Figura 11 apresenta as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de seis amostras de resíduos com aumento de 150x. As amostras A e B pertencem ao RN, e as demais (5, 12, 16, 22) ao RA.

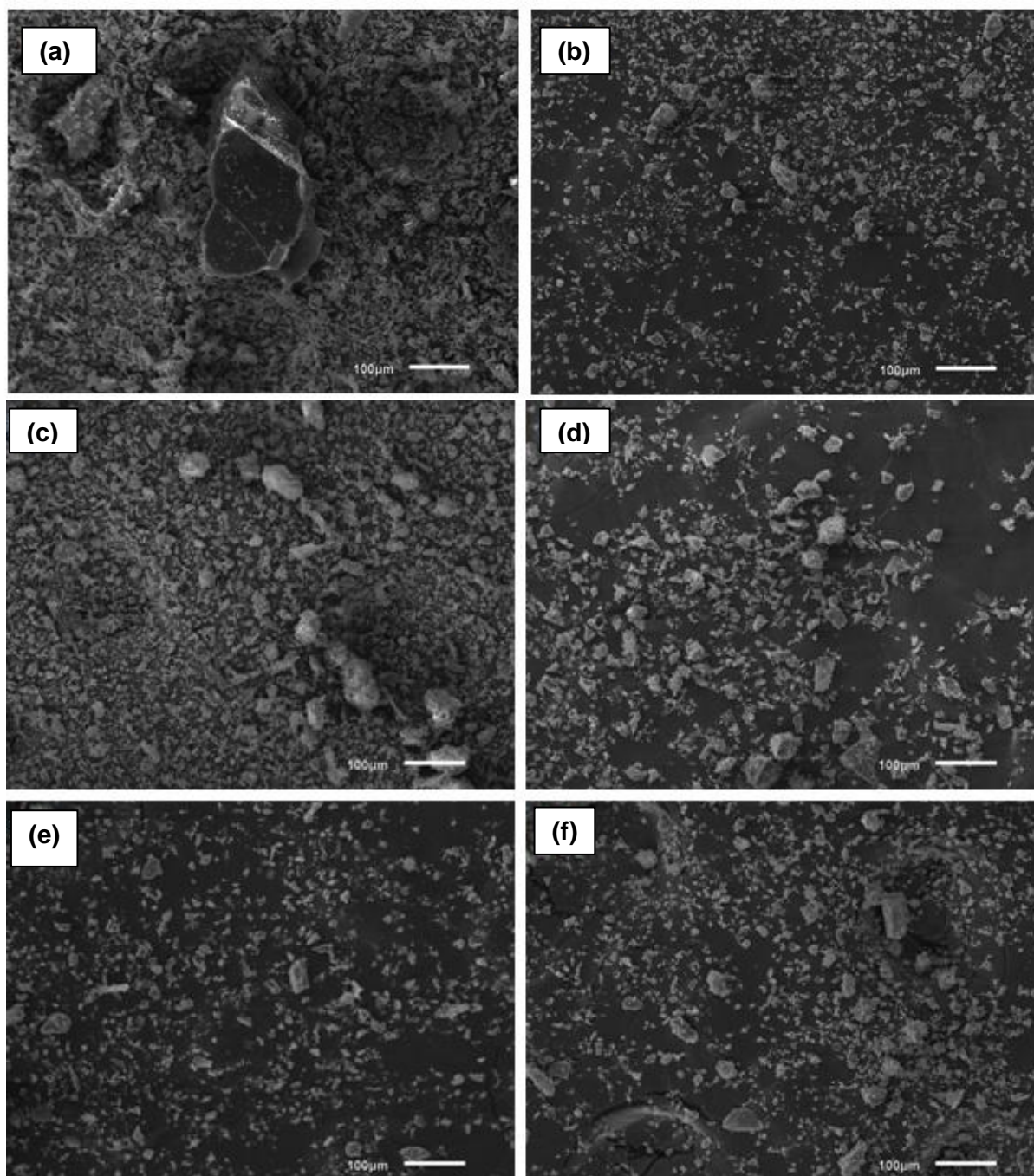


Figura 11– Imageamento por MEV de amostras de resíduos com aumento de 150x. (Onde: (a) e (b) são resíduos novos (31 e 32); (c), (d), (e) e (f) são resíduos antigos (5,12,16 e 22).

De modo geral, todas as amostras analisadas apresentaram formatos irregulares, que são provenientes das etapas de corte e serragem dos blocos. Além dos formatos irregulares, o tamanho dos grãos também é variado e geralmente inferior a 100 μ m, apresentando, portanto, granulação fina.

Na Figura 12 são exibidas as imagens das mesmas amostras obtidas com aumento de 1000x.

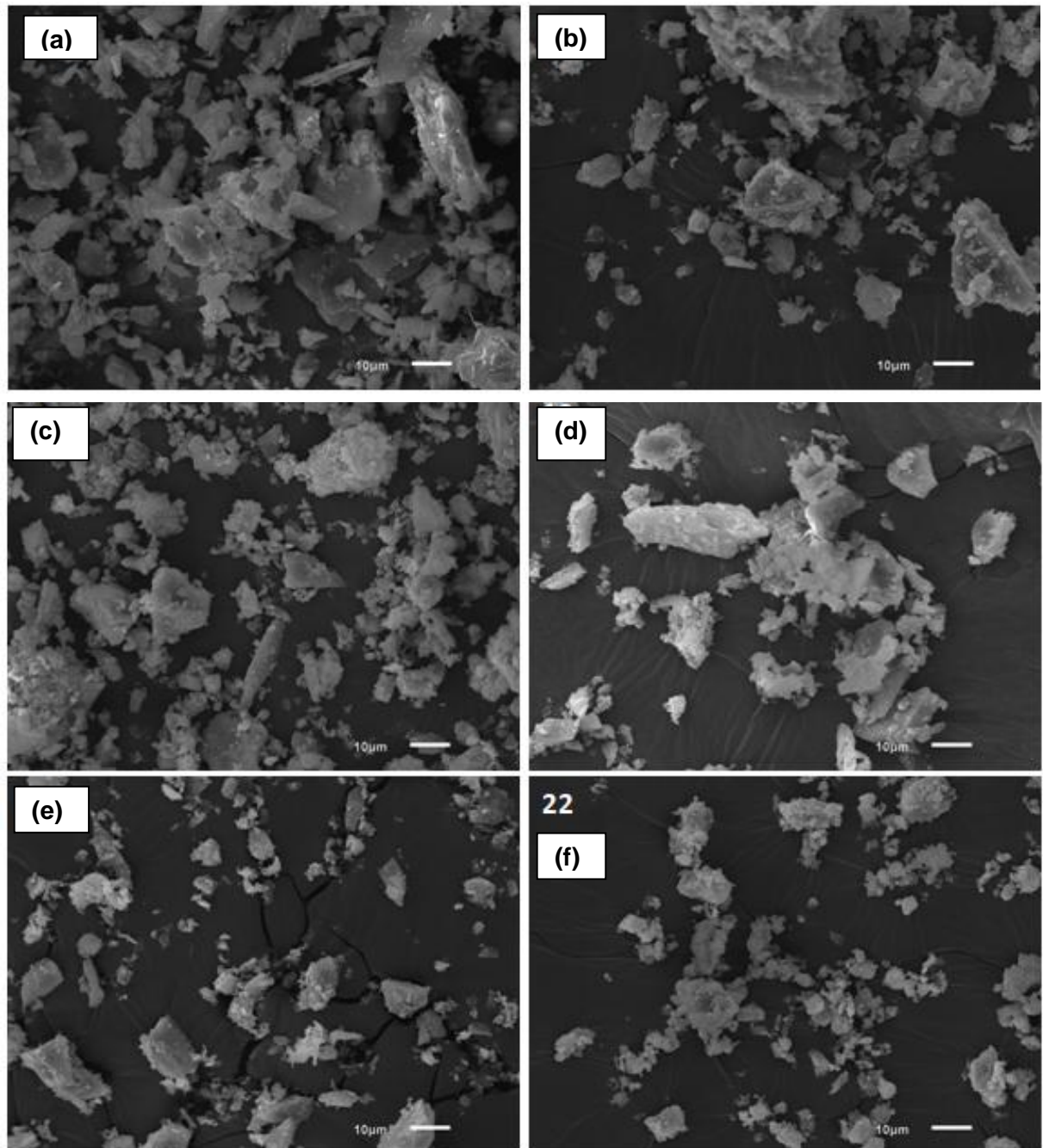


Figura 8– Imageamento por MEV de amostras de resíduos com aumento de 1000x. (Onde: (a) e (b) são resíduos novos (31 e 32); (c), (d), (e) e (f) são resíduos antigos (5,12,16 e 22).

Comparando as amostras de RN com o RA, não foi possível identificar diferenças no formato dos grãos ou na forma com que estão combinados.

Foi realizado um mapeamento em determinada área das seis amostras a fim de identificar os principais elementos químicos presentes, com aumento de 1000x.

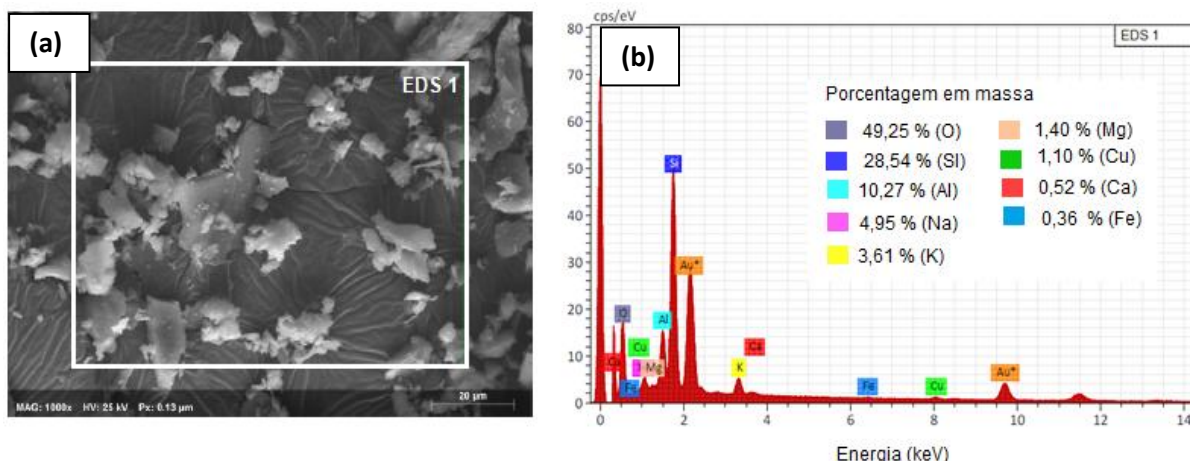


Figura 9– Mapeamento da amostra 31. (a) com aumento de 1000x e (b) porcentagem dos elementos O, Si, Al, Na, K, Mg, Cu, Ca e Fe.

Como esse resíduo foi coletado em um tear diamantado, a presença de ferro nesta área analisada é quase inexistente (0,36%). Esse resíduo é proveniente de uma rocha denominada como um quartzodiorito, e os principais minerais que a compõem são: plagioclásio (andesina), hornblenda, quartzo, piroxênios e biotita (MHE, 2018). Portanto, os elementos identificados nesta área da amostra (Na, Ca, Al, Si, O) confirmam a presença principalmente dos plagioclásios, que representam a maior parte deste tipo de rocha (60%). E, a presença do Cu deve estar associada ao desgaste do fio diamantado (CAREDDU; DINO, 2016).

A Figura 14 apresenta o mapeamento da amostra 32, também um RN, porém, proveniente do tear convencional.

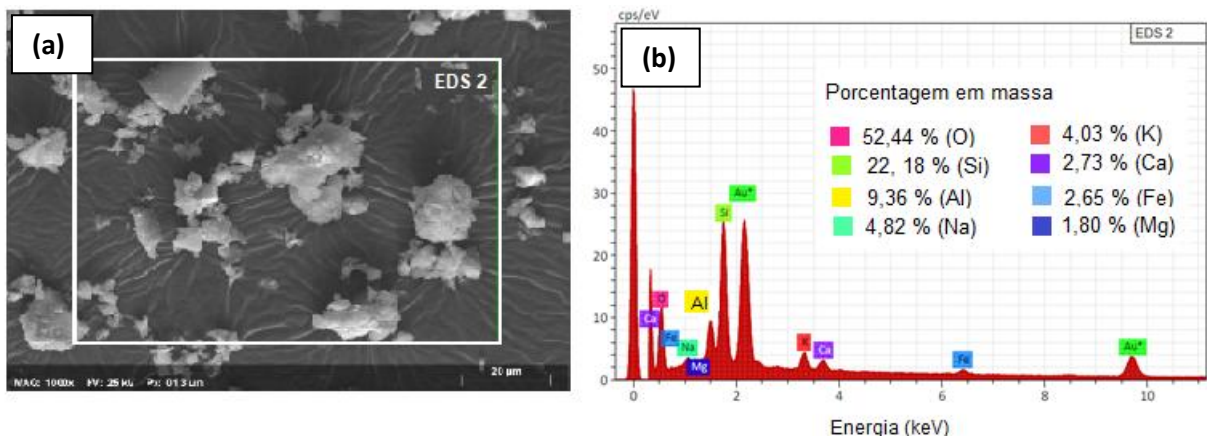


Figura 14—Mapeamento da amostra 32. (a) com aumento de 1000x e (b) porcentagem dos elementos O, Si, Al, Na, K, Ca, Fe e Mg.

Esse resíduo é proveniente de uma rocha denominada Sienogranito, que é composta em grande parte por feldspato potássico, o que se confirma pela presença de K, Si e Al principalmente. Percebe-se que nesta área, o Fe, representa 2,65%, enquanto que na amostra (a), o valor foi baixo, e tal ocorrência é devido ao tipo de tear utilizado.

A Figura 15 apresenta o mapeamento da amostra 5 pertencente ao grupo dos RAs, ou seja, é um resíduo misturado, coletado em um depósito. Verifica-se a presença de Ca nesta área da amostra (8,50%), o que se confirma com a análise do FRX, que obteve valores significativos para este elemento. O cálcio presente nesta amostra é proveniente principalmente da cal utilizada durante o processo de corte. A presença dos elementos Al e K denotam a presença de feldspatos, que são como o quartzo, minerais característicos de rochas silicáticas.

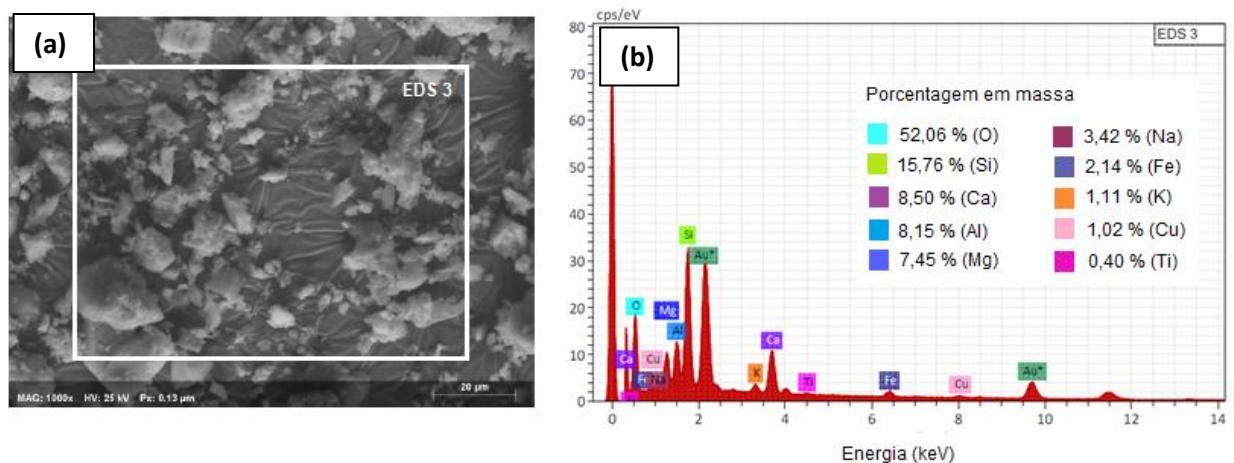


Figura 15— Mapeamento da amostra 5. (a) com aumento de 1000x e (b) porcentagem dos elementos O, Si, Ca, Al, Mg, Na, Fe, K, Cu e Ti.

A Figura 16 apresenta o mapeamento da amostra 12. Tal amostra também pertence ao RA. Os principais elementos identificados nesta área foram: O, Si, Al, Na, Fe, Ca, K, Mg e Ti. Novamente identifica-se a presença de elementos que formam os minerais do grupo dos feldspatos. Vale destacar que a presença do Fe e Ti é oriunda da etapa de corte dos blocos no tear convencional e que por ser um resíduo antigo, a probabilidade deste ter sido serrado em um tear convencional é alta, visto que o tear diamantado é considerado uma tecnologia mais nova. Os demais elementos são provenientes da própria rocha.

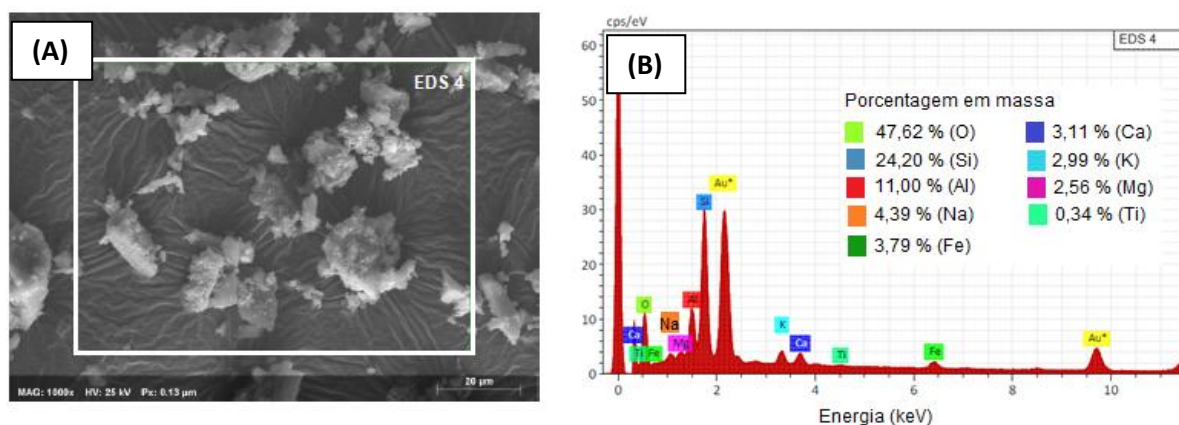


Figura 106– Mapeamento da amostra 12. (A) com aumento de 1000x e (B) porcentagem dos elementos O, Si, Al, Na, Fe, Ca, K, Mg e Ti.

Na Figura 17 fica evidente a presença de elementos que compõem minerais como feldspatos e o quartzo. Também se observa a presença do elemento ferro, que na análise por FRX, apresentou o maior percentual comparada com as outras 23 do grupo do RA, indicando como o ferro possui a característica de permanecer no resíduo na forma elementar mesmo com o passar do tempo. Como citado anteriormente, este elemento possui uma geoquímica complexa, podendo alterar sua valência de acordo com as condições físico-químicas (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 2001).

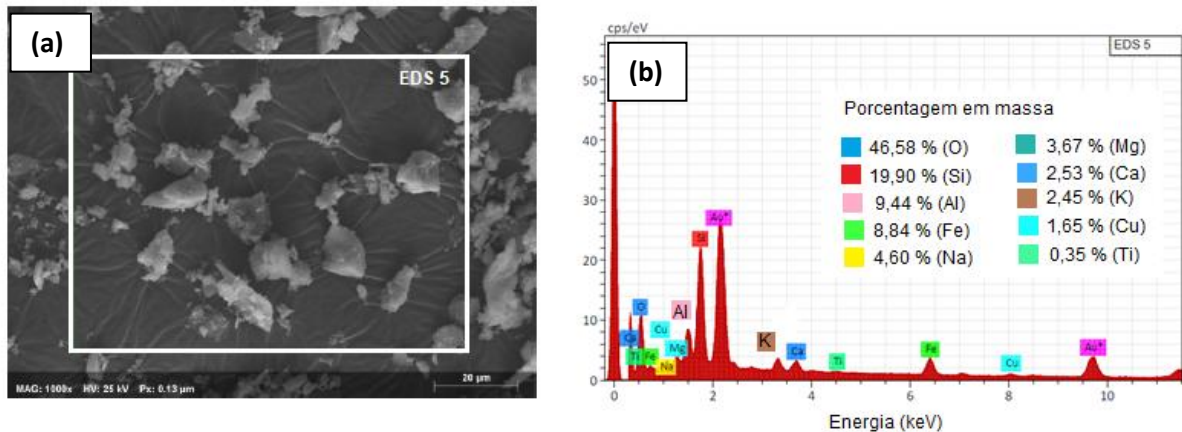


Figura 17– Mapeamento da amostra 16. (a) com aumento de 1000x e (b) porcentagem dos elementos O, Si, Al, Fe, Na, Mg, Ca, K, Cu e Ti.

A Figura 18 ilustra o mapeamento da amostra 22 (RA). Essa amostra pertence ao Depósito 4, onde predominam resíduos de rochas carbonáticas como os mármore. Nesta área analisada a presença de cálcio e oxigênio é alta, indicando a presença do mineral calcita, um carbonato de cálcio, muito abundante nos mármore. A dolomita, um carbonato de cálcio e magnésio, também é um mineral presente neste tipo de rocha, por isso a porcentagem de 5,75%. De modo geral, todas as amostras analisadas do RA apresentaram mineralogia compatível com rochas silicáticas e carbonáticas. A presença do metal ouro (Au) em todos os mapeamentos ocorreu devido ao processo de metalização que é feito na amostra antes da leitura, porém, não interferiu nos resultados finais.

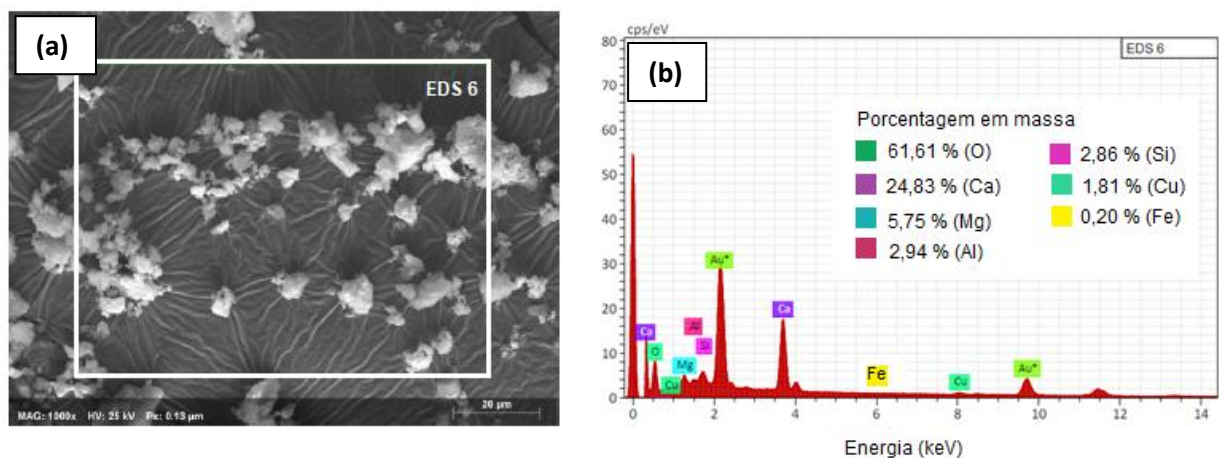


Figura 18– Mapeamento da amostra 22. (a) com aumento de 1000x e (b) porcentagem dos elementos O, Ca, Mg, Al, Si, Cu e Fe.

Com relação ao mapeamento, não foi possível identificar diferenças significativas entre os dois grupos de resíduos estudados, RA e RN, tanto em termos composicionais quanto texturais.

5.5. Classificação dos resíduos conforme NBR 10.004 (ABNT, 2004a)

Os resultados obtidos nos testes de lixiviação e solubilização para o RN e RA serão mostrados a seguir.

5.5.1. Análise do extrato lixiviado dos resíduos novos-RNs

A Figura 19 exibe as concentrações dos parâmetros analisados no Teste de Lixiviação para os resíduos novos.

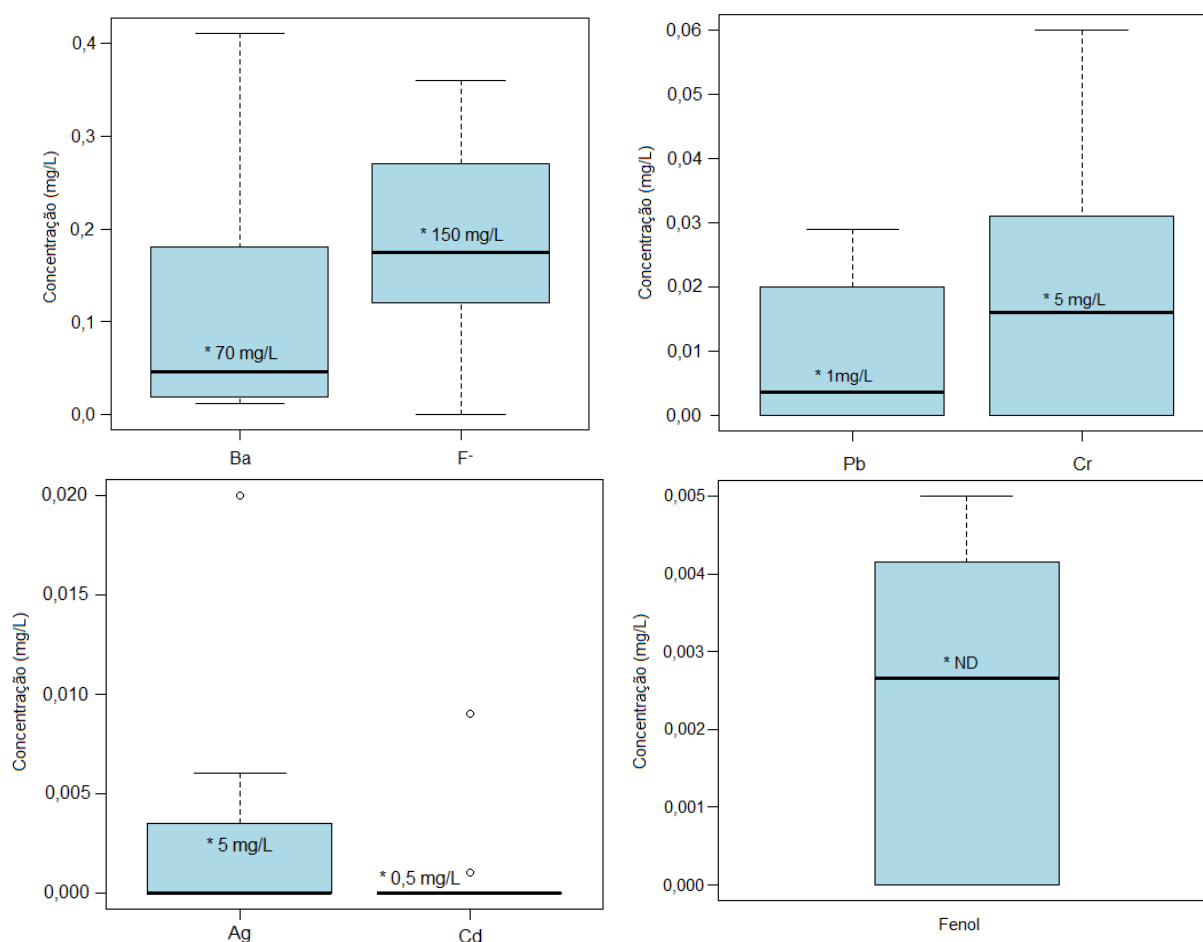


Figura 19– Parâmetros analisados no extrato lixiviado a partir dos resíduos novos – RN (* = valor máximo permitido -VMP; ND=não determinado na NBR 10004 (ABNT, 2004) para o extrato lixiviado.

A partir da análise dos dados, pode-se dizer que o bário (Ba) variou de 0,00 a 0,40 com 75% dos dados acima de 0,05 mg/L, os F^- apresentaram maior parte das concentrações entre 0,15 e 0,35 mg/L. O chumbo (Pb) apresentou o valor máximo igual a 0,03 mg/L, enquanto que o cromo (Cr) apresentou uma *range* maior, com um valor máximo de 0,06 mg/L e um conjunto de dados simétricos, com mediana igual a 0,015 mg/L. A prata (Ag) apresentou a maior parte dos valores menores que 0,005 mg/L, e mesmo com um valor discrepante, ainda assim ficou dentro do VMP. A variação do Cd foi pequena, com valores próximos de zero. Já o fenol apresentou uma distribuição de dados mais abrangente, porém, com concentrações inferiores a 0,005 mg/L. Mesmo com todas essas variações, os parâmetros obtidos no Teste de Lixiviação dos resíduos novos estão dentro do limite permitido pelo anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004a), o que é suficiente para classificar, com base nesses parâmetros, esse resíduo como Não-Perigoso (Classe II).

5.5.2. Análise do extrato solubilizado dos resíduos novos-RNs.

As concentrações dos elementos alumínio (Al), ferro (Fe), chumbo (Pb), fenol e cloreto (Cl^-) no teste de solubilização para os RNs apresentaram valores superiores ao VMP ao comparar com o anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004a). De acordo com a mesma norma, se um elemento estiver acima do VMP, isso é condição suficiente para que o resíduo seja classificado como Não- Inerte (Classe II-A).

O cloreto (Cl^-) embora tenha apresentado a maior parte dos dados dentro do VMP, a presença de duas amostras com alta concentração devido a etapa de polimento, fez com que esse composto ultrapassasse o VMP.

O sódio (Na) teve uma faixa ampla de resultados, com grande parte dos valores entre 5 e 45 mg/L, porém, permaneceu dentro do VMP. O sulfato (SO_4) apresentou a maior parte dos dados entre 0 – 30 mg/L. O alumínio (Al) ultrapassou o VMP, atingindo um valor máximo de 2,5 mg/L. A concentração do ferro também ultrapassou o VMP que é igual a 0,3 mg/L. O Mn, Ag e Cd também apresentaram concentrações acima do VMP, porém, nestes casos, ao fazer a média, os dados não ultrapassaram o limite, por isso não constam na lista dos parâmetros que estão acima do VMP. O fenol e o chumbo merecem atenção especial, pois são elementos tóxicos. O valor máximo obtido para o fenol foi 0,03 mg/L e para o chumbo 0,10 mg/L, sendo que o VMP de ambos é 0,01 mg/L (Figura 20).

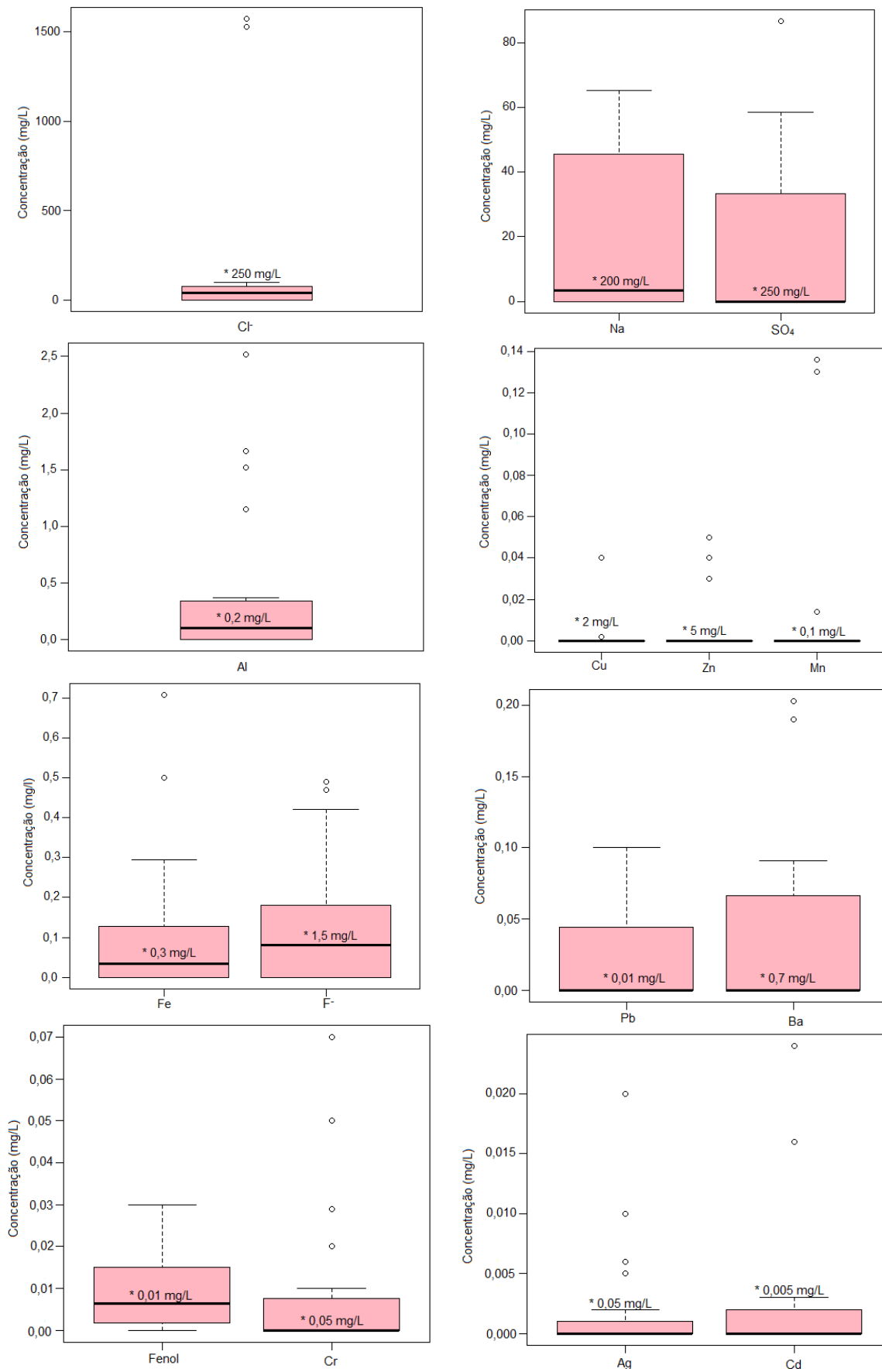


Figura 20– Concentrações obtidas dos parâmetros analisados no extrato solubilizado para os resíduos novos – RN (*= valor máximo permitido – VMP).

5.5.3. Análise do extrato lixiviado dos resíduos antigos - RAs.

Todos os dados apresentados para os RA no Teste de Lixiviação foram inferiores ao VMP, portanto, o RA também é Classe II. Observa-se que os valores para o chumbo estão compreendidos entre 0,11 e 0,30 mg/L, e o VMP para esse elemento neste teste é de 1 mg/L. O cromo e o bário apresentaram dados simétricos e 50% deles corresponde a 0,05 mg/L e 0,10 mg/L respectivamente. Os fluoretos (F^-) apresentaram valores dentro de uma faixa mais ampla, 0,5-2,5 mg/L, e o fenol variou até 0,007 mg/L (Figura 21).

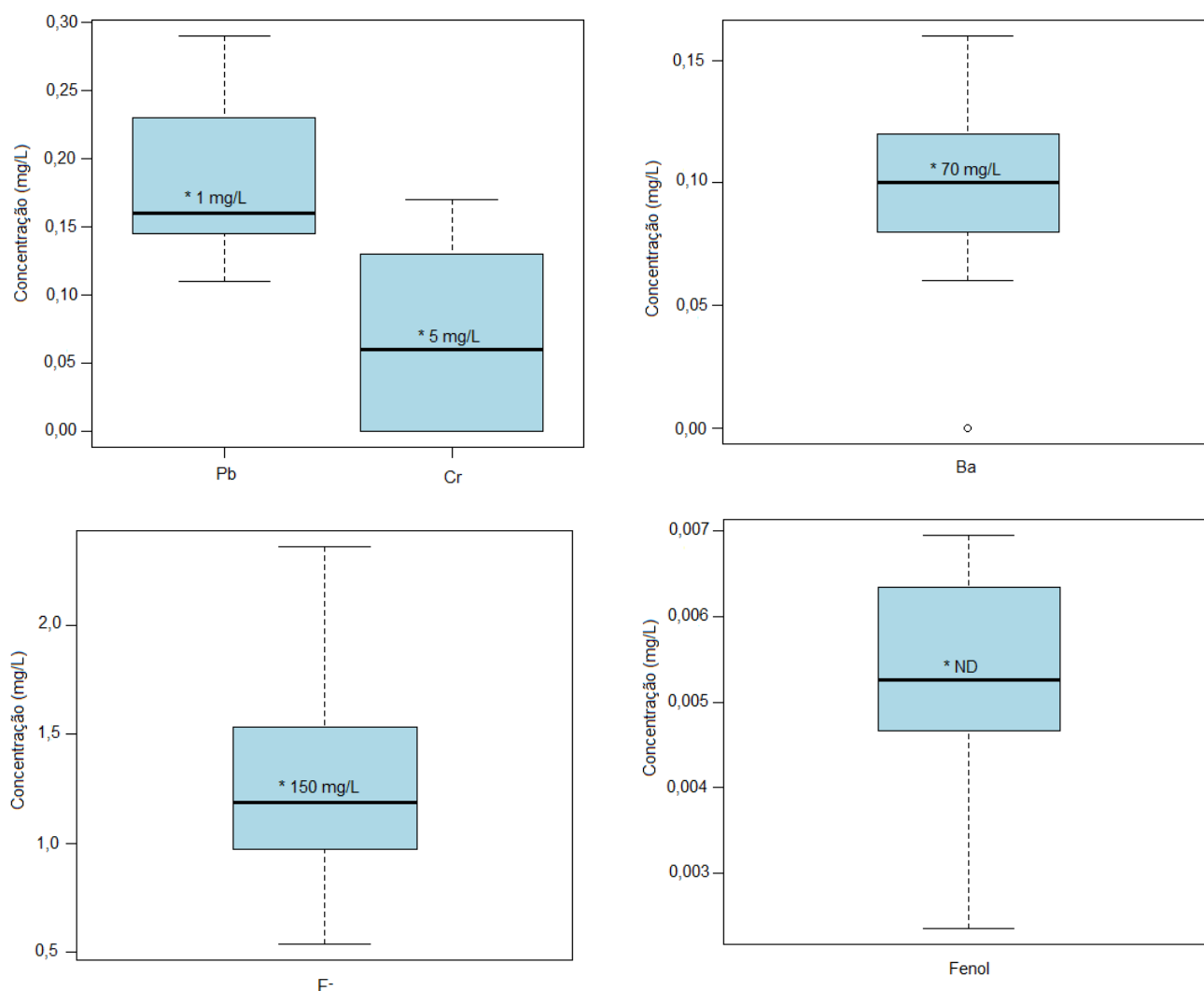


Figura 21– Concentrações obtidas dos parâmetros analisados no extrato lixiviado para os resíduos antigos – RA. (*= valor máximo permitido (VMP); ND=não determinado na NBR 10004 (ABNT, 2004) para o extrato lixiviado).

Os elementos arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), prata (Ag) e selênio (Se), apresentaram concentrações inferiores ao limite de detecção do equipamento, por isso, não foram apresentados.

5.5.4. Análise do extrato solubilizado resíduos antigos- RAs.

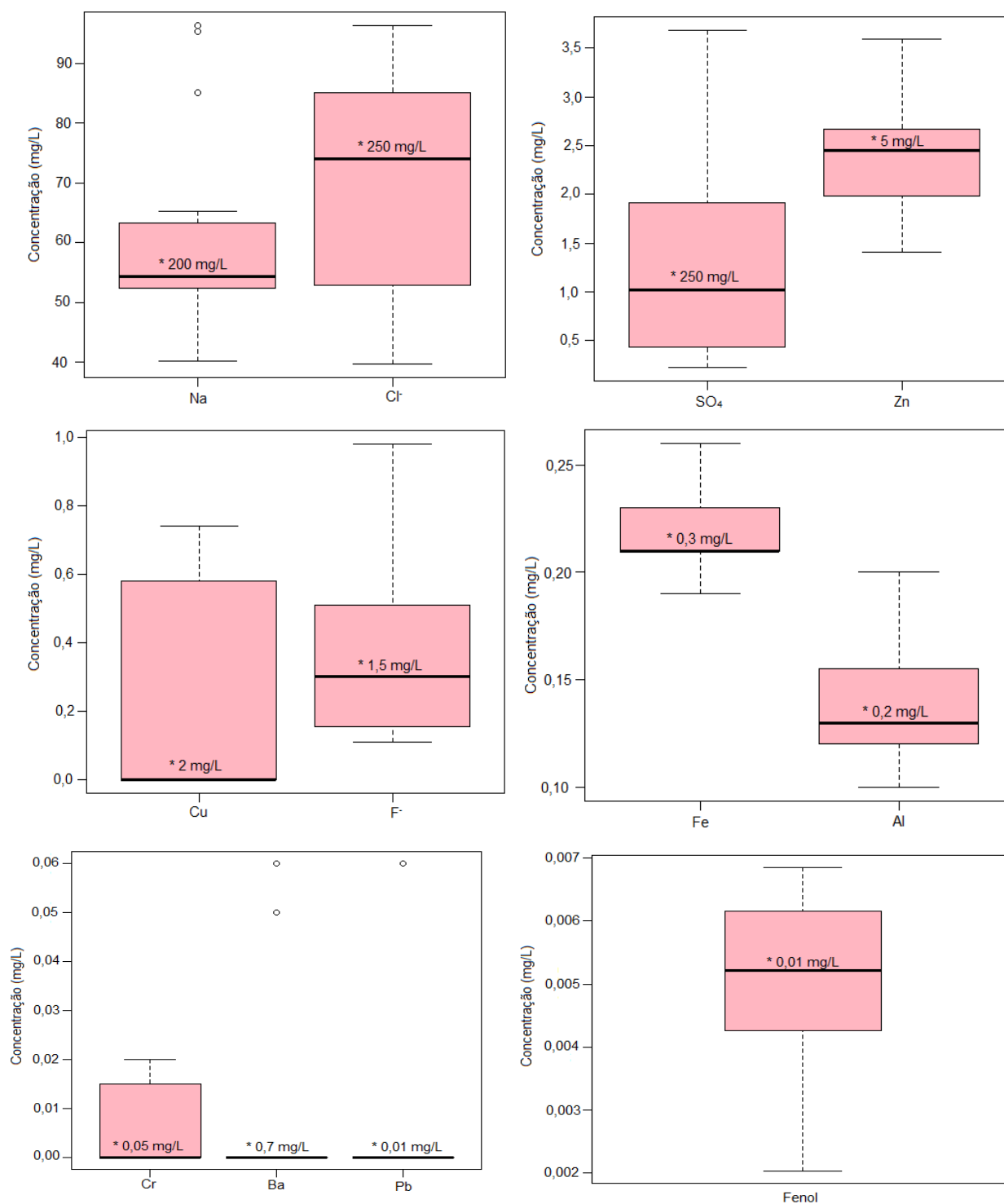


Figura 22– Concentrações obtidas dos parâmetros analisados no extrato solubilizado para os resíduos antigos - RA. (*= valor máximo permitido – VMP)

Os dados obtidos para o RA no Teste de Solubilização mostram que nenhum de seus constituintes apresentou valores superiores ao VMP, exceto uma única amostra que apresentou teor de chumbo ligeiramente superior ao recomendado pela legislação, porém, ao realizar a média das amostras, esse resíduo foi classificado como Inerte (Classe IIB). A grande maioria dos elementos apresentou valores menores nesse resíduo, indicando a possibilidade de estabilização desses constituintes com o tempo. Os elementos arsênio (As), manganês (Mn), cádmio (Cd), prata (Ag), selênio (Se) e mercúrio (Hg) apresentaram concentrações inferiores ao limite de detecção do equipamento e, portanto, não estão presentes na Figura 22.

5.5.5. Comparação das concentrações médias obtidas e o VMP dos resíduos

A partir da análise anterior, foi possível concluir que os dois tipos de resíduos estudados podem ser classificados como Classe II. Porém, houve diferença na classificação obtida no teste de solubilização entre o RN e RA, por isso, a Figura 23 traz uma comparação entre as concentrações permitidas e observadas no teste de solubilização, para os resíduos estudados.

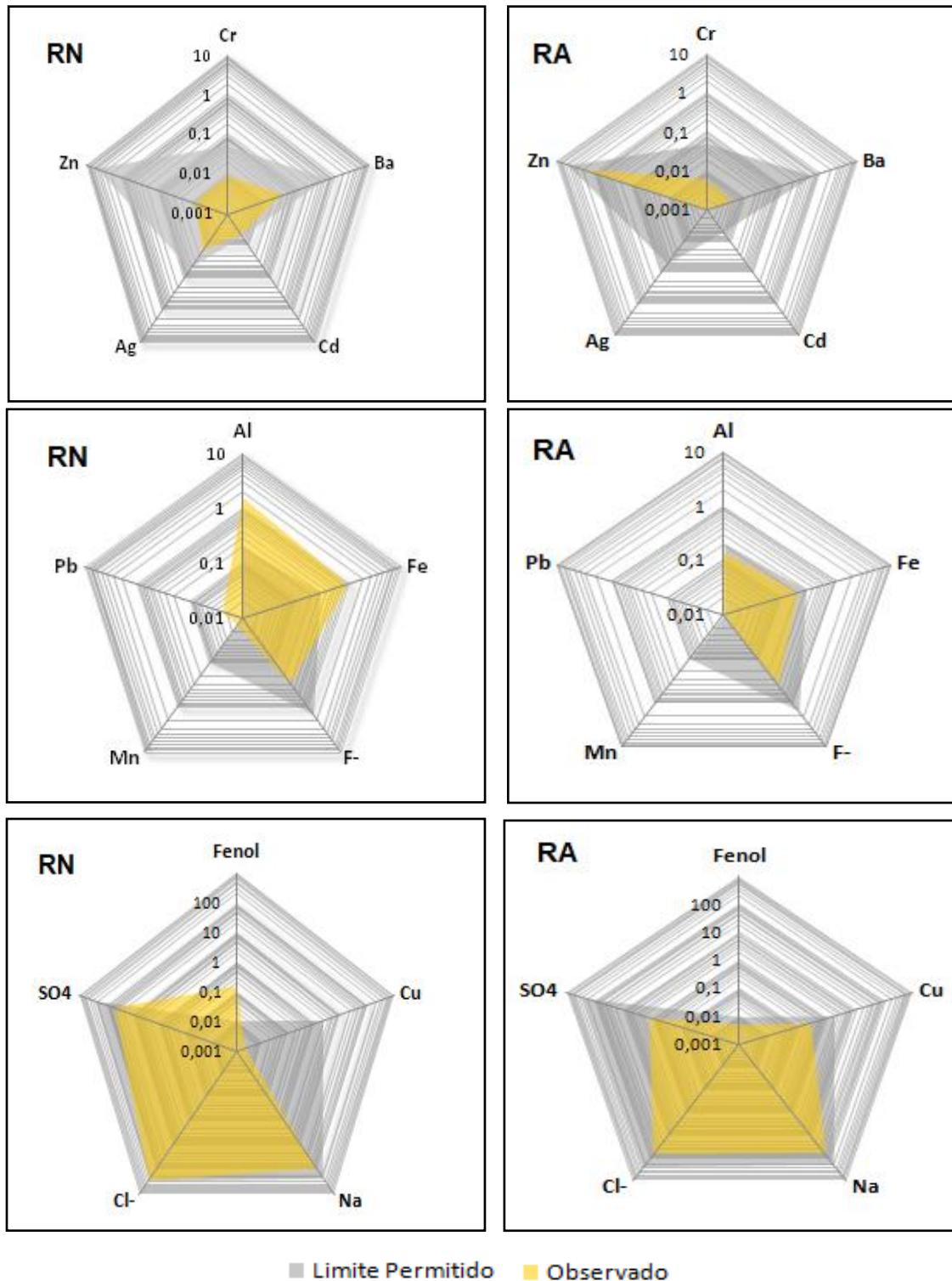


Figura 23- Concentrações médias de elementos e compostos nos eluatos dos RN e RA obtidos no Teste de Solubilização e comparação com o valor máximo permitido (VMP) para resíduos Inertes.

De acordo com análise da Figura 23, os valores obtidos para os elementos que estavam acima do VMP no RN são: alumínio (1,566 mg/L), ferro (1,03 mg/L), chumbo (0,024mg/L), cloretos (254,597 mg/L) e o fenol (0,141 mg/L).

A concentração de ferro encontrada no RN acima do VMP está associada ao insumo granalha de aço utilizado durante o corte do bloco no tear convencional. Silva e Ranno (2005) citam vários estudos mostrando que concentrações na faixa de 30 a 500 mg/L deste elemento no solo provocam toxidez às plantas. Recomenda-se que no extrato solubilizado, a concentração deste metal não ultrapasse 0,3 mg/L.

A concentração de Al acima do permitido pode estar relacionada com a composição das rochas, uma vez que possuem plagioclásio e microlina, minerais que contêm alumínio em sua composição, como também com o uso de coagulantes que são adicionados durante a decantação da lama abrasiva e que possuem alumínio. Os principais coagulantes são o sulfato de alumínio e o óxido de cálcio. Segundo Vidal, Azevedo e Castro (2014) estes coagulantes são adicionados com o objetivo de acelerar o processo de sedimentação dos sólidos nos decantadores, pois promovem a aglomeração das partículas finas, aumentando o seu peso e, conseqüentemente, a taxa de sedimentação dos sólidos. Embora o alumínio seja considerado essencial para alguns organismos, altas concentrações o tornam tóxico para as plantas e seres humanos, quando disponível na forma de íons livres (REIMANN; CARITAT, 1998). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece um limite de 0,2 mg/L desse elemento na água potável (WHO, 2010).

A presença de fenol, cloretos e chumbo provém das etapas de polimento e resinagem, que utilizam resinas e abrasivos para conferir o acabamento final das chapas (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014). O fenol no ambiente provoca diversos impactos negativos, desde a mortandade de peixes até a toxicidade em humanos, pois possui facilidade em interagir com compostos inorgânicos, microrganismos e outros compostos orgânicos, dando origem a outras substâncias tão tóxicas quanto os compostos fenólicos originais, além de combinar-se com cátions metálicos presentes na água (BOLAÑOS *et al.*, 2001; ANKU; MAMO; GOVENDER, 2017).

O Pb na forma iônica traz prejuízos à saúde humana, pois se depositam nos ossos substituindo o cálcio (BAIRD; CANN, 2011), sendo assim, o VMP desse elemento no extrato solubilizado não pode ser maior que 0,01 mg/L.

Ao analisar as concentrações médias obtidas para os RAs, é possível identificar que nenhum de seus constituintes apresentou concentrações superiores ao VMP, classificando-o como Inerte. No entanto, é importante citar que, dentre as 24 amostras do conjunto RA, em uma delas a concentração de Pb foi de 0,06 mg/L, ou seja, acima do VMP que é de 0,01 mg/L. Esse valor não desenquadró o grupo RA da classe dos Inertes por não possuir representatividade estatística, mas considera-

se importante destacar que mais depósitos devem ser estudados para garantir que a tendência de inertização observada nesse trabalho também ocorre em outros locais de armazenamento de resíduos. Ainda assim, considera-se que os resultados aqui apresentados indicam que com o passar do tempo, a quantidade de frações solubilizáveis dos resíduos tendem a diminuir.

Portanto, vale destacar a importância desses dados para o setor de rochas, pois a gestão de resíduos inertes é mais simples e eles podem ser usados como matéria-prima para outros produtos, como vidros, cerâmicas, construção civil, etc. Contudo, ressalta-se a necessidade de um tratamento adequado dos resíduos recém-gerados, que devem ser transportados e armazenados de forma correta para assegurar a proteção ambiental.

6 CONCLUSÕES

Os resíduos estudados são formados por partículas irregulares, com tamanhos de grão, na maioria das vezes, inferior a 63 μ m. Destaca-se que o RA apresentou tamanho de grão ligeiramente maior que o RN.

A composição mineralógica inclui minerais pertencentes tanto ao grupo de rochas silicáticas (quartzo, feldspatos e micas) como carbonáticas (calcita, dolomita), além da hematita, que provavelmente é proveniente do processo de serragem do bloco em tear convencional.

A análise química não apresentou diferenças significativas com relação ao envelhecimento do resíduo, uma vez que em ambos os casos estudados, confirmou-se a presença de elementos que compõem rochas silicáticas e carbonáticas, além do ferro, proveniente do insumo utilizado em teares convencionais.

A comparação no imageamento por MEV entre o RN e RA não demonstrou diferença em termos composicionais e texturais. O mapeamento confirmou a presença dos componentes determinados por DRX e FRX.

Com relação ao efeito do envelhecimento dos resíduos de granulação fina gerados no beneficiamento de rochas ornamentais em termos de classificação conforme a ABNT (2004a), verificou-se que as concentrações tendem a ser mais elevadas nos resíduos novos, classificando-os como Não-Inertes; mas, para os resíduos antigos, depositados em aterros, a classificação obtida foi de resíduos Inertes.

7 REFERÊNCIAS

ABRELPE– Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2017, 15 ed.

AGUIAR, L. L.; TONON, C. B.; NUNES, E. K.; BRAGA, A. C. A.; NEVES, M. A.; DAVID, J. A. O. Mutagenetic potential of fine waste from dimension stone industry. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.125, p. 116-120, 2016.

ANKU, W. W.; MAMO, M. A.; GOVENDER, P. P. Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods. In: Hernández, M. S.; TENANGO, M. P.; MÁTEOS, R. G. **Compostos fenólicos**: Fontes Londres: IntechOpen, 2017. cap. 17, p. 419-443.

ABIROCHAS– Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações e importações brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º semestre de 2018. São Paulo, Informe 3, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10004a**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10007d**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15012**: Rochas para revestimento de edificações. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7217**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10005b**: Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10006c**: Procedimento para obtenção de extrato de solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BASTIDA, C. A.; MIRANDA, V. M.; RÍOS, M. S.; HERNÁNDEZ, I. L.; SEQUEIRA, A. T.; MEJIÁ, G.V. Drinking water characterization and removal of manganese: Removal of manganese from water. **Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 2119- 2125, 2018.

BERTOSSI, A. P. A.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; PRADO, A. C. A.; DAMASCENO, C. A.; POLIDORO, J. C. Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. **Geociências**, v.31, n. 2, p. 185-195, 2012.

BOLAÑOS, R. M. L.; VARESCHE, M. B. A.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Phenol degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized biomass (HAIB) reactor under mesophilic conditions. **Water Science and Technology**, v. 44, n.4, p. 167-174, 2001.

BRAGA, F. S.; BUZZI, D. C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 237-244, 2010.

BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 12305, de 2010. **Coleção de Leis da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p.2, ago. 2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de vigilância em saúde. Portaria nº 518 de 2004. Brasília, DF, 2005.

BRASIL.Fundação Nacional da Saúde (FUNASA). **Manual de fluoretação da água para consumo humano**.Brasília, 2012.

CAPPUYNS, V. Barium (Ba) leaching from soils and certified reference materials. **Applied Geochemistry**, v.88, p. 68-84, 2018.

CAREDDU, N.; DINO, G.A. Reuse of residual sludge from stone processing: differences and similarities between sludge coming from carbonate and silicate stones- Italian experiences, **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p.1075, 2016.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. DOU Nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58-63.

DALA-PAULA, B. M.; CUSTÓDIO, F. B.; KNUPP, E. A. N.; PALMIERI, H. E. L.; SILVA, J. B. B.; GLÓRIA, M. B. A. Cadmium, copper and lead levels in

different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 383-389, 2018.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1974. 666 p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock Forming Mineral**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 558p.

DELGADO, J.; VÁZQUEZ, A.; JUNCOSA, R.; BARRIENTOS, V. Geochemical assessment of the contaminant potential of granite fines produced during sawing and related processes associated to the dimension stone industry. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 24- 27, 2006.

DINO, G. A.; PASSARELLA, I.; MARSAN, F. A. Quarry rehabilitation employing treated residual sludge from dimension stone working plant. **Environ Earth Science**, v. 73, p.7157-7164, 2015.

ETTLER, V. JOHAN, Z. 12 years of leaching of contaminants from Pb smelter slags: Geochemical/mineralogical controls and slag recycling potential. **Applied Geochemistry**, v. 40, p. 97-103, 2014.

FARAG, A. M.; MAY, T.; MARTY, G. D.; EASTON, M.; HARPER, D. D.; LITTLE, E. E.; CLEVELAND, L. The effect of chronic chromium exposure on the health of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). **Aquatic Toxicology**, v.76, p. 246-257, 2006.

FIRME, L. P.; VILLANUEVA, F. C.; RODELLA, A. A. Solo contaminado com cádmio: extratibilidade do metal e cinética química de degradação da matéria orgânica de torta de filtro. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 956-963, 2014.

FREITAS, J. J. G.; RAYMUNDO, V.; JESUS, H. C. Características químicas dos resíduos de serragem segregados de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 42, p. 615-624, 2012.

FRÉRY, C. G.; FRÉRY, N. Aluminium. **EMC- Toxicology- Pathologie**, v. 1, p. 79-95, 2004.

GEILFUS, C. M. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant. **Environmental and Experimental Botany**, v.157, p. 299-309, 2019.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Antac**. Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2002.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management**. Washington: World Bank, 2012. 116 p.

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. **IN 011/2016**: Critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Licenciamento de Rochas Ornamentais, Vitória, 2016.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY- ICPS: Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations: **Fluorides**. Disponível em <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc227.htm#1.1>>. Acesso em 18 de Out. 2018.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY- IPCS: Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations: **Silver and Silver Compounds: Environmental Aspects**. Disponível em <<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad44.htm>>. Acesso em 20 de Out. 2018.

JABBOUR, A. B. L. S. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 16, p. 7-9, 2014.

JOHANSEN, J. L.; RONN, R.; EKELUND, F. Toxicity of cadmium and zinc to small soil protists. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 1510-1517, 2018.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed, New York: CRC Press LLC, 2001. 403 p.

KONRAD, O.; CALDERAN, T. B. **A preservação ambiental na visão da política nacional dos resíduos sólidos**. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV, n. 89, jun 2011. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=9750&revista_caderno=5>. Acesso em: 2 fev. 2018.

LAMIR – Laboratório de Análise de Minerais e Rochas. Técnica de Secagem de amostras e determinação de Perda ao Fogo (Preparação e Amostragem). Disponível em: <<http://www.lamir.ufpr.br/portal/area-de-preparacao-e-amostragem/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

MANHÃES J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização e classificação de resíduo sólido “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1301-1304, 2008.

MARCHI, C. M. D. F. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **PG&C- Perspectivas em gestão & conhecimento**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

MARRAS, G.; BORTOLUSSI, A.; PERETTI, R.; CAREDDU, N. Characterization methodology for re-using marble slurry in industrial applications. **Energy Procedia**, v. 125, p. 656-665, 2017.

MHE-MUSEU DE MINERAIS , MINÉRIOS E ROCHAS HEINZ EBERT: **Quartzo Diorito**. Disponível em <<https://museuhe.com.br/rocha/quartzo-diorito/>>. Acesso em 10 de out. 2018.

MICHALOWICZ, J.; DUDA, W. Phenols- Source and Toxicity. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, n. 03, p. 347-362, 2007.

MILLER, J.J., BEASLEY, B.W.,DRURY, C. F.; ZEBARTH, B. J. Accumulation and redistribution of residual chloride , nitrate, and soil test phosphorus in soil profiles amended with fresh and composted cattle manure containing straw or Wood-chip bedding.**CanadianJournalofSoil Science**, v. 91,p. 969–984, 2011.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 49, p. 262-267, 2003.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 2, p.147-154, 2011.

NOULAS, C.; TZIOUVALEKAS, M.; KARYOTIS, T. Zinc in soils, waterandfoodcrops. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 49, p. 252-260, 2018.

OLIVEIRA, T.; RIBEIRO; R. P.; MOREIRAS, T. F. Caracterização de lamas do corte de granitos com vista ao uso em obras geotécnicas. **Ciência e Engenharia**, v. 25, n. 2, p. 51-57, 2016.

PAN, J.; PLANT, J. A.; VOULVOULIS, N.; OATES, C. J.; IHLENFELD, C. Cadmium levels in Europe: implications for human health. **Environmental Geochemistry Health**, v. 32, p. 1- 12, 2010.

PIVELLI, R. P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos: ânions de interesse em estudos de controle de qualidade das águas: sulfato, sulfeto, cloreto e cianeto**. 2008. Roteiro de aula da disciplina de Qualidade da Água. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP. Disponível em <<https://pt.scribd.com/document/333017426/Fasciculo-7-Anions-Em-Aguas>>. Acesso em 31 de out. 2018.

PREZOTTI, J. C. S. Resultados de monitoramentos de estações de tratamento de efluentes líquidos de indústrias de beneficiamento de mármore e granito, implantadas no município de Cachoeiro de Itapemirim. In: A gestão dos recursos hídricos e a mineração- IBRAM, 2003.

PREZOTTI, L.C; GOMES, J.A; DADALTO, G.G; OLIVEIRA, J.A. DE. **Manual de Recomendação de Calagem Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, Vitória, 305 p., 2007.

PROCHNOW, T. R.; PROCHNOW, E. A.; LIBERMAN, B. Efeitos antrópicos sobre concentrações de metais alcalinos na região da microbacia do Arroyo Araçá, Canoas- Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v.32, n. 7, p.1782-1786, 2009.

RAYMUNDO, V.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; BREGONCI, I. S.; LIMA, J. S. S.; FONSECA, A. B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo de acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 1, p. 47-53, 2013.

REIMANN, C.; CARITAT, P. **Chemical Elements in the Environment: Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist**. Berlin: Springer, 1998. 398 p.

REIS, A. S. **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil**. 2008. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SABOYA, F.; XAVIER, G. C.; ALEXANDRE, J. The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. **Construction and Building Materials**, v.21, p. 1950-1960, 2007.

SANTOS, M. M. A.; Destefani, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.18, n.04, p.1442-1450, 2013.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. F. **Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo**: Projeto geologia e recursos naturais do Espírito Santo. Brasília: CPRM, 2013.

SENADO FEDERAL, Aumento da produção de lixo tem custo ambiental. **Revista em Discussão**, n.22, p. 53-54. Disponível em <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano>>. Acesso em 31 de Out. 2018.

SILVA, L.S. DA.; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e adisponibilidade de nutrientes na solução do solo após o adagamento. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1054-1061, 2005.

SIVRIKAYA, O.; KYILDI, K. R.; KARACA, Z. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil. **Environmental Earth Sciences**, v.71, p. 4397-4407, 2014.

SOLOMONS, T. W. G.; FRUHLE, C. B. , Química Orgânica, 7ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A ., Rio de Janeiro, 2001.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n.03, p. 685-689, 2010.

TAGUCHI, S. P.; SANTOS, J. C.; GOMES, T. M.; CUNHA, N. A. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 354, p. 291-296, 2014.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 1. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000.

US EPA, 2005. **Toxicological Review of Barium and Compounds. Integrated Risk Information System (IRIS)**. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. NCEA-S-1683. Disponível em: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=10. Acesso em 20 dez. 2018.

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

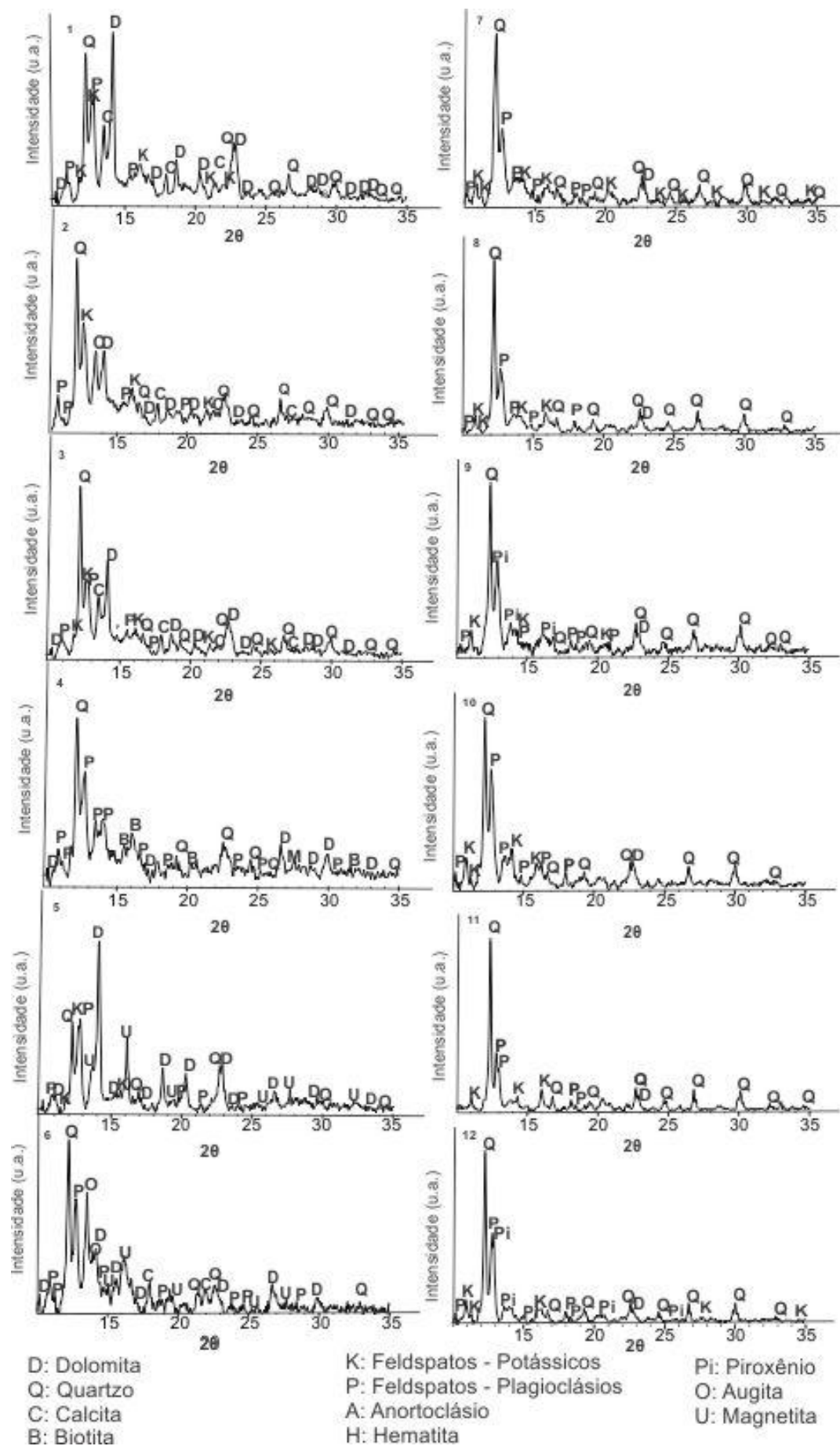
VIJAYALAKSHMI, M.; SEKAR A.S.S.; PRABHU, G. G. Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste. **Construction and Building Materials**, v. 42, p. 1-7, 2013.

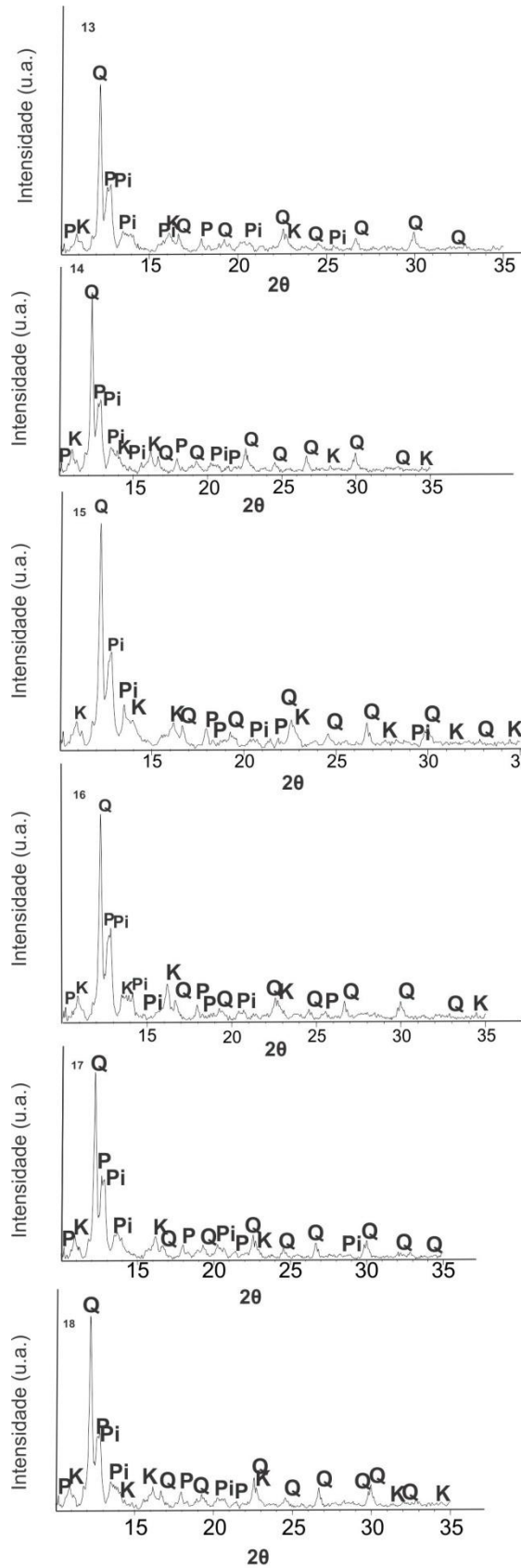
World Health Organization (WHO) (2011). **Guidelines for Drinking Water Quality**. 4 ed. World Health Organization, Geneva, Suíça.

WHO (2010). **Aluminium in Drinking Water**. World Health Organization, Geneva, Suíça. Disponível em https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/aluminium/en/. Acesso em 20 de Dez. 2018.

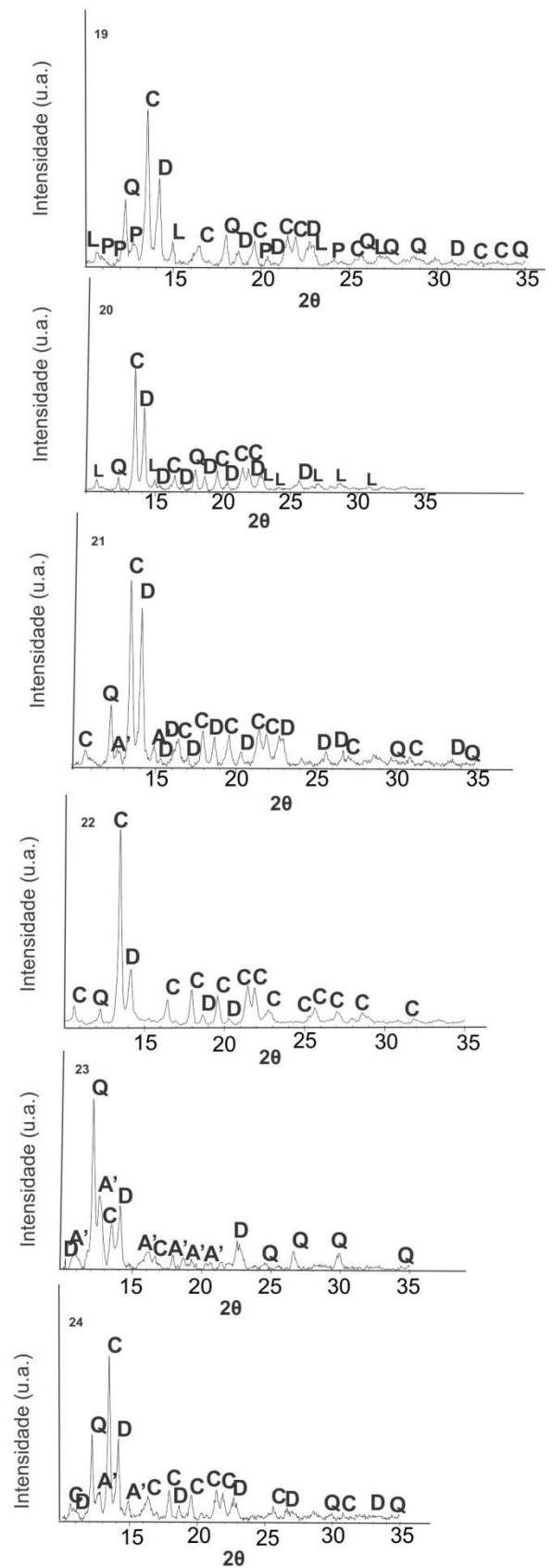
APÊNDICE

APÊNDICE A- Composição Mineralógica dos resíduos antigos, obtida pela técnica de DRX.





D: Dolomita
Q: Quartzo
C: Calcita
L: Olivina



K: Feldspatos - Potássicos
P: Feldspatos - Plagioclásios
A: Anortoclásio
Pi: Piroxênio

APÊNDICE B - Composição química dos RAs, obtida pela técnica de FRX (%).

Amostra	SiO₂	CaO	Al₂O₃	MgO	Fe₂O₃	K₂O	Na₂O	PF
1	48,06	16,82	12,29	6,39	5,91	4,69	2,48	1,60
2	53,93	13,83	13,20	4,88	4,91	4,93	2,62	0,40
3	54,09	13,38	13,05	4,96	5,28	5,02	2,53	0,30
4	53,01	8,21	14,31	8,91	6,07	4,03	2,18	0,54
5	36,86	21,38	10,07	13,60	10,04	3,39	1,89	0,39
6	45,78	15,39	11,88	11,63	6,98	3,15	1,85	0,36
7	66,77	3,99	13,43	1,01	6,35	5,13	2,64	0,06
8	63,08	4,15	14,08	2,05	7,76	4,46	2,27	0,04
9	61,07	3,94	14,56	1,38	8,93	5,25	2,77	0,04
10	59,44	5,02	14,58	3,60	7,07	5,36	2,85	0,21
11	65,88	2,57	13,18	1,08	8,93	5,09	2,20	0,03
12	59,84	4,90	14,86	2,37	8,78	4,17	2,31	0,05
13	61,03	5,44	13,42	1,11	9,11	5,09	2,99	0,07
14	60,56	5,55	14,10	2,75	7,11	4,83	2,83	0,15
15	59,27	7,11	13,95	2,24	7,75	4,71	3,05	0,23
16	54,81	6,04	13,19	2,17	14,02	4,55	2,86	0,17
17	60,35	6,05	14,01	1,61	7,33	4,81	3,01	0,49
18	62,11	5,31	14,53	1,52	6,56	4,97	2,97	0,29
19	31,61	42,20	6,78	12,15	2,36	2,12	1,11	0,70
20	9,90	71,84	1,92	13,29	0,90	0,51	0,18	1,14
21	23,01	52,25	5,46	13,34	2,20	1,39	0,69	0,85
22	9,41	79,16	1,45	7,46	0,66	0,38	0,16	1,03
23	53,67	13,42	11,10	10,35	3,76	4,07	1,90	0,33
24	34,20	39,82	7,01	10,39	2,92	2,46	1,19	0,87
Média	49,49	18,66	11,52	5,84	6,32	3,94	2,15	0,43
Desvio	16,71	21,95	3,99	4,63	3,11	1,50	0,88	0,41
Min.	9,41	2,57	1,45	1,01	0,66	0,38	0,16	0,03
Máx.	66,77	79,16	14,86	13,60	14,02	5,36	3,05	1,60

APÊNDICE C-Concentrações de parâmetros medidos nos eluatos obtidos no teste de solubilização para resíduos novos–RNs.

Parâmetro	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	25	64	65	66	67	68	69	70	71
pH	11,0	10,0	11,0	10,0	9,4	12,3	7,7	10,3	8,4	11,0	9,5	8,1	11,6	8,9	8,4	NA	11,51	10,82	7,91	11,14	9,8	9,13	9,02	8,23
Al	0,12	0,110	0,110	0,090	0	0,37	0	4,41	0,31	10,49	0	0	0	0	0	0,02	9,8470	1,5180	0,0000	4,5360	1,1510	2,5170	0,3110	1,6630
Na	45,5	45,60	65,30	55,80	0	0	0	0	0	0	327	308,4	308,4	6,7	8,75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Fe	0,055	0,250	0,070	0,034	0	0	0	0	0	0	0,5	0,1	0,2	0	0	5,01	0,1280	0,0000	0,0350	0,0180	0,2940	0,7070	17,270	0,0490
Mn	NA	NA	NA	NA	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0140	0,1360	0,0000
Pb	0,018	0,009	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,07	0,09	0,08	0,1	0,08	0,10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cr	0,005	0,0050	0,0040	0,0040	0,02	0,01	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0290	0,0000
Zn	NA	NA	NA	NA	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,0000	0,0440	0,0000	0,0000	0,0450	0,0460	0,0000	0,0000
Cu	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,0000	0,0000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ba	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0,0720	0,0910	0,0000	0,0130	0,1900	0,2030	0,0230	0,0610
As	NA	NA	NA	NA	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cd	0,003	0,002	0,002	0,002	0	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,016	0,024	0,016	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ag	0,005	0,006	0,002	0,003	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0,01	0	0,29	0,00	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Phen	0,00687	0,00591	0,00688	0,00633	0	0	0,02	0,21	0	0	2,9	0,02	0,02	0,03	0,01	NA	0,0035	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000
Chl	81,1	74,500	67,500	65,900	0	0	0	0	0	0	1574,03	1527,7	41,67	1991	17,59	NA	31,000	97,000	50,000	37,000	21,000	83,000	37,000	59,000
SO4	NA	NA	NA	NA	6,13	0	311,44	86,65	13,73	58,54	0	0	0	0	0	53,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Flr	0,09	0,090	0,080	0,080	0,27	0,47	2,07	1,72	0,49	0,29	0	0	0	0	0	NA	0,0000	0,1800	0,0400	0,4200	0,1000	0,1700	0,0000	0,0000

Concentrações em mg/L; NA: Não Analisado

APÊNDICE D - Concentrações de parâmetros medidos nos eluatos obtidos no teste de solubilização para resíduos antigos – RAs.

Parâmetro/ Amostra	VM P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
pH	-	10	9	9	10	10	11	10	9	10	9	10	10	10	11	10	11	10	10	11	11	11	11	11	10
Al	0,2	0,15	0,12	0,17	0,15	0,18	0,15	0,1	0,12	0,15	0,12	0,2	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,19	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,16	0,17
As	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,05
Cd	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻	250	85,2	49,6	96,3	81,2	74	52,9	65,3	0	81,1	56,3	63,3	51,2	39,8	51,2	52,9	63,3	85,7	85,1	85,9	78,5	52,3	85,2	96,3	84,5
Cu	2	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	0,51	0,59	0,52	0,57	0	0,59	0	0,69	0	0,54	0	0,74	0,59
Cr	0,05	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0,02	0,02
Fe	0,3	0,22	0,15	0,2	0,13	0,23	0,21	0,23	0,21	0,25	0,21	0,21	0,19	0,26	0,23	0,21	0,21	0,27	0,21	0,21	0,2	0,15	0,12	0,23	0,21
F ⁻	1,5	0,41	0,12	0,15	0,19	0,21	0,12	0,19	0,45	0,41	0,16	0,42	0,24	0,51	0,51	0,63	0,17	0,74	0,96	0,11	0,15	0,36	0,14	0,98	0,85
Mn	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Se	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	200	45,6	40,2	63,5	52,3	65,3	52,4	63,9	62	54,2	63,3	96,3	52,9	54,4	63,3	52,3	52,9	41,2	52,5	52,6	52	60,8	57,4	95,3	85,1
SO ₄	250	3,68	1,69	1,87	1,96	1,87	0,98	2,47	1,98	0,36	2,35	0,25	1,05	2,63	1,23	0,51	0,34	1,03	0,33	0,23	0,23	1,02	0,62	1,02	0,54
Zn	5	1,98	1,47	2,25	2,11	2,58	2,44	2,98	1,87	3,51	1,95	2,47	1,89	1,98	2,35	3,59	2,74	3,25	2,47	2,98	1,41	2,55	2,49	2,59	2,39
Fenol	0,01	0,0043	0,0031	0,0047	0,0042	0,0050	0,0058	0,0063	0,0054	0,0053	0,0063	0,0050	0,0052	0,0062	0,0069	0,0061	0,0062	0,0056	0,0068	0,0068	0,0020	0,0053	0,0042	0,0036	0,0043

Concentrações em mg/L; NA: Não Analisado

APÊNDICE E- Concentrações de parâmetros medidos nos eluatos obtidos no teste de lixiviação para resíduos novos – RNs.

Parâmetro/ Amostra	VMP	49	50	51	52	25	64	65	66	67	68	69	70	71
Pb	1	0,0220	0,0290	0,0070	0,0070	0,0900	0,0200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000	0,0000
Cr	5	0,0340	0,3850	0,0280	0,0160	0,0600	0,0390	0,0000	0,0000	0,0000	0,0190	0,0000	0,3990	0,0000
Fenol	-	0,0043	0,0031	0,0040	0,0022	NA	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,0000	0,0032	0,0000
Cd	0,5	0,0000	0,0000	0,0090	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ag	5	0,0020	0,0500	0,0050	0,0060	0,0200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Al	-	0,2100	0,2400	0,2600	0,1600	NA	2,9380	0,1650	0,0750	2,6810	1,0880	0,2400	2,4400	0,5710
Fe	-	36,4000	46,9000	38,6000	32,2000	NA	303,6000	0,7080	0,0210	0,0000	757,7300	233,0200	751,6600	0,0800
Na	-	24,0000	12,2000	16,7000	10,1200	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
F⁻	150	0,3600	0,1200	0,1600	0,1300	NA	0,1900	0,0000	0,2700	0,6800	0,0000	0,3100	0,2000	0,8500
Cl⁻	-	84,5000	90,2000	81,2000	85,5000	NA	23,0000	90,0000	17,0000	17,0000	11,0000	75,0000	130,0000	22,0000
As	1	NA	NA	NA	NA	0,0000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ba	70	NA	NA	NA	NA	0,0800	0,4110	0,0250	0,0110	0,0120	1,3070	1,0590	0,2800	0,0460

Concentrações em mg/L.

NA: Não Analisado.

APÊNDICE F - Concentrações de parâmetros medidos nos eluatos obtidos no teste de lixiviação para resíduos antigos – RAs.

Parâmetro/ Amostra	VM P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
As	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	70	0,10	0,09	1,12	0,85	0,44	0,10	0,12	0,1	0,12	0,13	0,08	0,06	0,16	0,12	0,12	0,1	0,16	0,12	0	0	0	0	0,1	0,12
Cd	0.5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	1	0,16	0,15	0,23	0,11	0,25	0,14	0,25	0,15	0,16	0,12	0,16	0,13	0,27	0,15	0,23	0,13	0,29	0,13	0,2	0,15	0,23	0,19	0,26	0,2
Cr	5	0,96	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0	0	0	0,12	0,12	0,16	0,13	0,17	0,12	0,13	0	0	0	0,14	0	0,15	0,13
F⁻	150	1,15	1,02	1,19	0,54	1,25	0,96	2,36	1,47	0,96	0,94	1,25	0,64	1,58	1,54	1,99	0,96	2,65	1,52	1,53	1,03	0,99	1,02	2,36	2,14
Hg	0.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Se	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenol	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,004	0,005	0,006	0,005	0,002	0,005	0,006	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,002	0,005	0,005	0,004	0,006	0,006
		24	25	52	53	64	52	12	29	33	24	51	41	58	41	85	22	85	14	51	23	23	12	95	85

Concentrações em mg/L; NA: Não Analisado

ANEXO

ANEXO A - Composição química dos RNs, obtidos da literatura (%)

Resíduo (%)	SiO₂	CaO	Al₂O₃	Fe₂O₃	MgO	K₂O	Na₂O	MnO	PF
25	72,17	2,33	10,80	5,04	0,94	3,87	2,34	0,08	1,08
26	65,95	3,01	12,84	7,89	1,47	4,19	2,39	0,04	1,33
27	67,06	2,03	15,07	6,09	-	6,62	-	0,14	-
28	92,06	1,07	3,26	-	-	0,93	-	-	-
29	67,72	3,45	16,21	3,45	-	6,73	-	0,09	-
30	53,52	6,89	19,41	8,06	-	8,61	-	-	-
31	74,74	1,02	14,77	0,35	0,25	5,46	3,34	0,06	0,80
32	63,45	4,80	13,08	8,47	0,23	6,78	2,45	0,11	0,44
33	71,18	2,96	13,56	4,21	-	4,34	3,05	-	-
34	59,62	4,83	12,77	9,49	1,96	5,30	2,72	-	1,98
35	71,60	1,77	14,05	3,87	1,09	4,10			0,60
36	62,70	3,96	12,75	10,63	0,80	4,34	3,34	0,10	0,70
37	66,43	2,23	17,26	3,70	0,32	7,49	1,01	0,08	0,65
38	62,88	4,42	14,11	5,72	1,02	4,36	2,54		2,97
39	67,04	3,94	13,06	7,66	0,46	3,74	3,13	0,12	0,50
40	59,61	4,48	11,77	5,98		3,63	2,70		4,44
41	88,91	0,00	6,64	0,00		0,06	0,14		2,93
42	60,20	6,02	13,80	6,30		3,63	3,38		2,57
43	54,38	6,47	16,09	9,49	7,16	1,50	4,32	0,13	0,91
44	65,90	2,96	15,06	4,27	1,14	5,17	3,50	0,10	2,75
45	72,66	1,56	15,09	3,50	0,38	3,58	4,54		0,42
46	56,80	9,40	15,30	6,80	3,40	3,50	2,70		
47	66,80	3,44	13,50	3,79	0,93	3,83	3,50		3,50
48	66,48	4,91	11,36	6,44	1,84	5,07	2,16	-	0,32
Média	67,08	3,66	13,40	5,70	1,46	4,45	2,80	0,10	1,61
Desvio	9,13	2,14	3,26	2,73	1,72	1,97	1,02	0,03	1,27
Mín.	53,52	0,00	3,26	0,00	0,23	0,06	0,14	0,04	0,32
Máx.	92,06	9,40	19,41	10,63	7,16	8,61	4,54	0,14	4,44

